

مكتبة الاسكندرية

693.7

٧١

تصميم المنشآت المعدنية

الطبعة الثالثة

LIOTHECA ALEXANDRINA

مكتبة الاسكندرية

دكتور أحمد شعبان

(M Sc , Sc. D.)

مستاذ الهندسة الإنشائية

أستاذ المنشآت والكبارى المعدنية

ورئيس قسم الهندسة الإنشائية

بجامعة الاسكندرية سابقا

الجزء الأول

إهداء

من

المهندس حامد العوا

من ١٩٤٦ إلى ٢٠٠٢

إلى مكتبة الاسكندرية

١٩٩٢

جامعة القاهرة

تصميم المنشآت المعدنية

الطبعة الثالثة

دكتور أحمد شعبان

(M. Sc., Sc. D.)

أستاذ الهندسة الإنشائية
أستاذ المنشآت والكباري المعدية
ورئيس قسم الهندسة الإنشائية
بجامعة الاسكندرية سابقا

الجزء الأول

٥١

١٩٩٢

بسم الله الرحمن الرحيم

« وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد ومنافع للناس »

صدق الله العظيم

الحمد لله الذي هداني لهذا وما كنت لأهتدي لولا أن هداني الله ، فألان
إلى الحديد ، وكان هذا الكتاب في المنشآت المعدنية ، الفولاذية منها خاصة .
ولعلني قد أقدمت على هذا العمل ، بعد طول إحجام ، خشية ألا أوفيه حقه .
ويجوي هذا الكتاب تصميم عناصر وأجزاء المنشآت المعدنية وقد سرت
فيه على نهج التصميم من مبادئه ، غير معتمد على جداول أو مخططات لا
تساعد على الإحساس الهندسي المرهف . إضافة إلى أننا في منطقتنا العربية
نضطر إلى تكوين الكثير من أجزاء المنشأ من عناصر نختارها مما هو متوافر في
السوق المحلية .

وقد رأيت ألا أتعلم كثيرا في النواحي النظرية جاعلا الدراسة أكثر ميلا
إلى الجانب التطبيقي . كما حوى الكتاب الكثير من الرسومات التوضيحية
والأمثلة المقارنة المفصلة ، إنحاما للفائدة المرجوة منه .

وإني إذ أقدم هذا الكتاب للدارسين في الجامعات العربية وللمهندسين
الذين ربما قد نسوا ما درسوا من محتوياته ، لأمل أن يجدوا فيه بغيتهم .
والله أسأل أن ينفع به ، سائلا إياه العون على إتمام ما قد بدأت ، إنه
سميع مجيب .

مقدمة الطبعة الثانية

بسم الله الرحمن الرحيم

وبعد فقد لاقت فكرة تأليف كتاب تصميم المنشآت المعدنية باللغة العربية موافقة تامة من زلثائي في هذه الجامعة مما حداني إلى مراجعة الطبعة الأولى مراجعة مستغنية (علي قدر الجهد البشري) حاولت فيها ثلاثي مظهر بالطبعة الأولى من أخطاء مطبعية ونحس مطبعية سببتها السرعة التي تمت بها الطباعة .

وفي هذه الطبعة حاولت استكمال فصلين هامين : الحادى عشر وهو خاص بالعدادات التي هي جزء أساسى فى المنشآت المعدنية، والثانى عشر وهو يعالج تصميم الكمرات المعرضة لعزم حتى مزدوج وهو مايكمل الفصل السادس .

وبالله التوفيق

أحمد شعبان

الاسكندرية في ٢٠ صفر ١٤٠٤

٢٥ نوفمبر ١٩٨٣

مقدمة الطبعة الثالثة

بسم الله الرحمن الرحيم

تظهر هذه الطبعة في ظل المواصفات المعدلة و التي صدرت عام ١٩٨٨ . وقد تضمنت هذه المواصفات بعض تغييرات طفيفة إلا أن أهم ما ورد بها إضافة بنود جديدة فيما يختص بتحقيق اتزان الكسرات جاذبيّاً سواء أكانت شفة الضغط أم روح الكسرة .

و قد كان لازدياد النلة في حسابات التحنيب أن أمكن خفض قيمة معامل الأمان وبالتالي ازدياد الجهد المسموح فمثلاً هكذا جهد التحنيب المسموح به للصلب St 37 من ٧٠٠ إلى ٧٤٠ كجم / سم^٢ عندما تكون $\frac{I}{r} = 100$

كما زيد الجهد المسموح به في الأمام الزاوي من 0,4ft إلى 0,5ft

و يؤسلفني أني لم أشارك في تعديل المواصفات لوجودي خارج البلاد . و على العموم فإني لازلت عند رأيي في أنه لم يحسن الأتيان بمدد لخفض معامل الأمان حيث أن جزءاً لا يتس به من هذا المعامل خاص بأعمال التفتيش .

و بذلك لم أحدث تغييراً في قيم الجهود المسموح بها عن الطبعة السابقة لهذا الكتاب .

أما إذا رأى المصمم أن يسير مع معامل الأمان الجديد لسإن طريقة الحساب لا تتغير .

هذا وقد زيد في هذه الطبعة الفصل الثالث عشر و هو خاص بتصميم الاطارات المعدنية .

سبتمبر ١٩٩٢

أحمد شعبان

الاهداء

إلى أم المهندسين ، زوجتى التى ساعدت إصرارها على ظهور هذا
الكتاب
وإلى اولادنا المهندسين الدكتوراة عادل ولىلى ونبييل وفايقة الذين
طالما تمنوه ، ولعل ظهوره يسعدهم



الفصل الأول

المعادن في الإنشاء

الحديد أكثر المعادن استخداماً في المنشآت ، وقد استخدم الألمنيوم والمغنسيوم قديماً في بناء هياكل الطائرات ، وذلك لما يتمتعان به من قلة في الكثافة . واستخدام الألمنيوم في الطائرات .. ولا سيما الثقيلة منها - مقصور الآن على كسوة الهيكل من الخارج .

وقد بدأ من عهد قريب في إنشاء الجسور من الألمنيوم تخفيفاً لوزنها الذاتي حيث تبلغ كثافة الألمنيوم نحو ثلث كثافة الفولاذ (٧,٧٥ / ٢,٨٥) .

ولا يستخدم الحديد أو الألمنيوم صافياً لما هما عليه من شدة الليونة ولذلك تضاف إلى كل منهما عناصر تصلح من هذه النقيصة : فالفولاذ سبيكة من الحديد والكربون متحدان بنسب متفاوتة ، وقد تضاف إليهما عناصر أخرى تضافي على الفولاذ خواص أخرى غير القوة والصلابة . ويحتوي الألمنيوم المستخدم في الإنشاء على عناصر أخرى مثل المغنسيوم والمنجنيز والسيلكون والنحاس .

صناعة الحديد والفولاذ

يوجد الحديد في الطبيعة في خامات تحتوي على ما بين ٣٥٪ و ٤٠٪ من

معدن الحديد . ومن هذه الخامات :

أكسيد الحديدوز (Hematite — Fe_2O_3) .

أكسيد الحديدك (Magnetite — Fe_3O_4) وهو أغناها في الحديد .

أكسيد الحديد المائي (Limonite — $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) وهو أفقرها في الحديد .

كربونات الحديدوز (Siderite — $FeCO_3$) .

كبريتور الحديد (Pyrite — FeS_2) .

وتسحق الخامات المستخرجة من المناجم ثم تسخن في أفران خاصة وتعتمد على شكل قوالب ، كما وأن عملية التسخين تحول الكربونات إلى أكسيد الحديدوز :



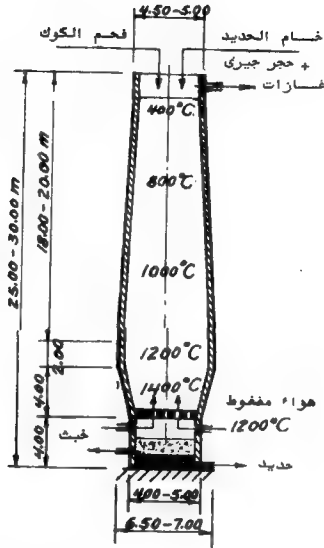
كما يتحول كبريتور الحديد إلى أكسيد الحديدوز ويتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يستخدم في إنتاج حامض الكبريتيك :



ومر صناعة الفولاذ خلال المراحل التالية ،

المرحلة الأولى ، إستخلاص الحديد من خاماته .

وذلك باستخدام الفرن العالي أو الفرن اللافتح (Blast Furnace) (شكل ١-١) ويغذى الفرن العالي من أهلاء بالمواد التي تستخدم في إنتاج الفولاذ وهي الخام المجهز وفحم الكوك والحجر الجيري وذلك في طبقات متناوبة وبكميات تتم معايرتها . ويدفع هواء ساخن بشدة قرب القاع في نحو ١٢٠٠°م فيشتعل الفحم وتسخن الخامات وينتزل أكسيد الحديد إلى الحديد ويتصاعد أول أكسيد الكربون الذي يشتعل بدوره مساعداً في عملية التسخين ، وبفعل الحرارة الشديدة يكون الحديد في حالة سيولة ، ولعظم



شكل (١ - ١) - رسم تخطيطي للفرن العالي

كثافته يترسب في القاع في الوقت الذي ينصهر فيه الحجر الجيري ويطلق على السطح حاملاً معه ما قد يحوي الخام من شوائب ويسمى الخبث (Slag). ويستخرج الحديد المنصهر من أسفل الفرن على دفعات ، وقد يصب في قوالب أو ينقل في دلاء لتصنيعه ، ويطلق عليه اسم الحديد الخام (Pig iron) وتبلغ كثافته ٧,٣٠ طن / م^٣ ويحتوي على ما بين ٣٪ و ٤٪ من الكربون الحر ، ولا

ليونة له . أما الخبث فيسحب ويكسر حيث يستعمل في الأغراض التي يستخدم فيها الزلط ، كما يستعمل في إنتاج الأسمنت الحديدي (Blast furnace cement) .
المرحلة الثانية ، تنقية المعدن

وفيها ينقى الحديد الخام مما به من شوائب ضارة مثل الكبريت أو غير مرغوب فيها مثل الفسفور كما يزال ما به من كربون حر ثم تضاف إليه العناصر التي تعطي الفولاذ خصائص معينة . وتستخدم لذلك إحدى العمليات الآتية :

أولاً - طريقة المحول (Converter) وتعرف بطريقة توماس / بسمر (Thomas-Bessemer Process)

وهي أسهل الطرق وأسرعها لإنتاج الحديد وتستغرق العملية ما بين ١٥ و ٢٠ دقيقة ولا تتطلب وقوداً إذا ما نقل الحديد الخام من الفرن العالي إلى المحول مباشرة وهو في حالة انصهار ، إلا أنه يعيها انحباس فقائيع الهواء داخل المعدن .

والمحول عبارة عن وعاء من الفولاذ شكله مخروطي مبطن من الداخل بالطوب الحراري الملائم لنوع الخلطة وله فوهة واسعة ، وقد يكون محوره أفقياً أو رأسياً أو مائلاً ، ويغذي المحول بكمية من الحديد الخام المنصهر تزن نحو ٢٠ طناً بينما يدفع من قاعه هواء بارد يمر خلال الكتلة فيحرق ما بالهواء من أكسجين نسبة كبيرة مما بالمعدن من شوائب بما فيها الكربون محدثاً لهباً عظيماً عند الفوهة وبذلك يستمر المعدن منصهراً ، وتسمى هذه الطريقة بالحمضية .

أما إذا كان بالحديد الخام نسبة كبيرة من الكبريت والفسفور فإنه يضاف إليه في المحول مادة الجير أو الكلس (Lime) قبل دفع الهواء ويمتص الجير الكثير من الكبريت والفسفور ويطلق على هيئة خبث وتسمى هذه الطريقة طريقة توماس أو طريقة بسمر القاعدية .

وبعد إتمام عملية الاحتراق يضاف الكربون إلى المعدن بالنسبة المطلوبة

ويكون ذلك على هيئة المنجنيز الحديدي (*Ferro Manganese*) الذي يحتوي على الكربون والمنجنيز والحديد ويكون ذلك في المحول أو في الدلاء التي ينقل إليها الفولاذ إذا كان الإنتاج بالطريقة الحامضية بينما تكون الإضافة في الدلاء في الطريقة القاعدية .

ثانياً - طريقة بيت الفرن المفتوح (*Open-hearth process*)

وتسمى أحياناً طريقة سيمنس - مارتن (*Siemens-Martin*) وفيها يغذى فرن ضحل بخليط من الحديد الخام والحديد الخردة (*Scrap iron*) وتصل هذه المواد بواسطة الغازات المتولدة من الفرن العالي وعندئذ تتأكسد الشوائب وتختلط بالخبث ، كما يحترق الكربون . وقد يضاف خام أكسيد الحديدوز (Fe_2O_3) الذي يساعد ما يحتويه من أكسجين على سرعة التفاعل ، وهذه هي الطريقة الحامضية ، فإذا احتوى الخام على الكثير من الكبريت أو الفسفور أضيف إلى الخليط مادة الجير وهذه هي الطريقة القاعدية .

ونظراً لصهر المواد في هذا الفرن فإن العملية تستغرق ما بين ٦ ساعات إلى ١٠ ساعات ولكن الخلطة قد تتجاوز ٨٠ طناً ، ونظراً لطول فترة العملية فإنه يمكن التحكم في الخلطة ولذلك يعتبر الفولاذ المنتج بهذه الطريقة أجود من ذلك المنتج بطريقة المحول .

ثالثاً - طريقة الفرن الكهربائي (*Electric Furnace Process*)

في هذه الطريقة تستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث الحرارة اللازمة لصهر المعدن ويستخدم هنا الفولاذ الخردة ولا تتجاوز كميته ٢٥ طناً . وهذه الطريقة كثيرة التكلفة وتستخدم أساساً في إنتاج فولاذ ذي مواصفات خاصة . وقد يغذى الفرن أيضاً بالفولاذ المنتج بطريقة المحول أو بطريقة الفرن المفتوح ، وهذه العملية قاعدية وبذلك يمكن التحكم في نسب الفسفور والكبريت .

المرحلة الثالثة ، التصنيع

في كل من الطرق الثلاث يصب الفولاذ المعالج في دلاء كبيرة ومنها يصب في قوالب خاصة مبطنه حتى يتصلب وتسمى هذه القطع (Ingots) ويتراوح وزن الواحدة بين ٨ و ١٥ طناً . وعند استخراج هذه القطع « التماسيح » يكون داخلها لا زال سائلاً فتحفظ في أفران خاصة حتى يتم تصلبها وتكون درجة حرارتها بين ١٢٠٠ و ١٢٥٠ م وعدلت تكون صالحة للتصنيع .

تؤخذ القطع بعد ذلك إلى عنبر الدرفلة أو الدلفنة (Rolling Mill) حيث تفرط وتقطع قطعاً تناسب ما سوف ينتج منها من أجزاء فولاذية كما في الجدول

(١ - ١) : جدول (١ - ١)

مقاس القطعة مم	الأجزاء المنتجة
٥٠ × ٥٠ إلى ١٢٥ × ١٢٥	الأسلاك والأسياخ والزوايا الصغيرة
١٥٠ × ١٥٠ إلى ٣٠٠ × ٣٠٠	القطاعات الإنشائية
٥٠ إلى ٢٢٠ × ٦٠٠ إلى ١٥٠٠	الألواح والصفائح

العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ

الكربون (Carbon) هو أهم العناصر التي تدخل في تركيب الفولاذ ، فلما كان الحديد الخالص مادة طرية (Soft) وكربيد الحديد مادة شديدة الصلابة ولكنها قصفة (Brittle) فهي بذلك تعطي الفولاذ قوة (Strength) بينما تضعف من مطاطيته (Ductility) .

وعندما يكون الكربون هو العنصر الأساسي في تركيب الفولاذ فإنه يسمى الفولاذ الكربوني (Carbon steel) .

المنجنيز (Manganese) يزيد من القوة القصوى ومن قوة الخضوع ولكنه يقلل من المطاطية ، كما يزيد من مقاومة الفولاذ للصدأ .

الموليبدنم (*Molybdenum*) يزيد من قوة الخضوع كما يرفع من تصلب الفولاذ ومن مقاومته للبري وكذلك مقاومته للصدأ .

الفاناديوم (*Vanadium*) يزيد من تصلب الفولاذ (*Hardness*) ومن مقاومته للبري عندما يضاف بنسبة تصل إلى ١٢,٠ ٪ .

الكروم والنيكل (*Chromium and Nickel*) كل منهما يزيد من قوة الفولاذ كما يرفع من تصلبه ومقاومته للبري وكذلك مقاومة الصدأ والعوامل الجوية وقد استخدم النيكل في إنتاج الفولاذ العالي المقاومة .

النحاس (*Copper*) يحسن من قوة الفولاذ ومن تصلبه ومن مقاومته للصدأ وتضاعف ٢,٠ ٪ منه من مقدرة الفولاذ على مقاومة الصدأ .
وتستخدم هذه العناصر الثلاثة في إنتاج الفولاذ الذي لا يصدأ (*Stainless steel*) .

الفسفور (*Phosphorus*) يزيد من القوة والتصلد ويقلل من المطاطية .
السليكون (*Silicon*) يزيد من القوة والتصلد ويقلل من المطاطية وهذا العنصر يستخدم في إنتاج الفولاذ العالي المقاومة بدلاً من النيكل .
الكبريت (*Sulphur*) وهو مادة ضارة بالفولاذ ويجب ألا تتجاوز نسبته في الخلطة ٠,٠٠ ٪ .

منتجات الحديد والفولاذ

١ - الحديد المسبوك (*Cast iron*)

والاسم الدارج له الحديد الزهر ويحضر بإعادة صهر الحديد الخام المستخرج من الفرن العالي مع بعض الحديد الحردة ثم صبه في قوالب. ويحتوي الحديد الناتج على نحو ٣٪ من الكربون الذي يكون على شكل بلورات حرة ، أما حبيبات الحديد فهي غليظة .

والحديد المسبوك قصيف لا يتحمل الصدمات وهو ضعيف في الشد ولكن مقاومته للضغط لا بأس بها وتبلغ كثافته ٧,٢٥ طن / م^٣ وينصهر في

درجة ١٢٠٠° م وهو غير قابل للطرق وتشغيله يكون بصبه في قوالب تشكل حسب الطلب ومن هنا جاءت التسمية حيث تسمى عملية الصب « الساكنة » . ويقتضي لحام الحديد المسبوك احتياطاً فإنه إذا سخن وترك ليبرد ، يتصدع .

وقد استخدم الحديد الزهر قديماً في الأعمدة الزخرفية وفي العقود التي لا تتعرض للجهود شد كما استخدم في كراسي الكمرات التي لا يزال يستخدم فيها ، واستخدامه في المنشآت الآن قاصر على الأجزاء المعيارية .

٢ - الحديد المطاوع (Wrought iron)

هو أول ما أنتج من الحديد لاستعماله في المنشآت ، وظل كذلك حتى نحو عام ١٩٣٠. ويحضر بصهر الحديد الخام في أفران قلاية لحرق ما به من كربون وشوائب ، بحيث لا يحتوي الناتج على أكثر من ٠,١٢٪ من الكربون وهو بذلك مرن شديد المطاطية. وينتج الحديد المطاوع بطريقة الدلفنة وتكوينه ليفي وقوته في اتجاه الدلفنة أي في اتجاه الألياف كبيرة ولكنه أضعف في الاتجاه المتعاود .

والحديد المطاوع قابل للحام كما أنه مادة مغناطيسية وتصنع منه الآن السلاسل (Chains) والمواسير (Pipes) والواح المراجيل وأنبابها (Boiler Tubes) كما تعمل منه بعض الألواح المسطحة والموجة .

٣ - الفولاذ الإنشائي (Structural steel)

وقد كان يسمى من قبل الصلب الطري (Mild steel) تمييزاً له من الصلب القاسي أو الناشف (Hard steel) الذي يستخدم في إنتاج الآلات المقاطعة ويحتوي الفولاذ الإنشائي على ما بين ٠,١٢٪ و ٠,٣٠٪ من الكربون وتتوقف قوته على نسبة ما يحتويه من كربون فكلما زادت نسبة الكربون ازدادت القوة ولكن تنقص المطاطية . وينتج الفولاذ الإنشائي بطريقة الدلفنة ، كما

يمكن طرده وسيكه ولحامه .

ومن الفولاذ الإنشائي صنف عالي القوة (*High-tension steel*) ويطلق عليه أيضاً اسم الصلب السبيكي (*Low-Alloy steel*) ويستعاض فيه عن جزء من الكربون بإضافة عنصر آخر . وفيما مضى أضيف النيكل بنسبة تتراوح بين ١٪، ٥، ٣٪ أما الآن فيضاف السليكون بنسبة تتراوح بين ٨، ١٪، ٢٪ بينما تقل نسبة الكربون إلى ٢٠، ١٪ .

ويبين الجدول (١ - ٢) أصناف الفولاذ الإنشائي وكيف تتوقف قوتها على محتواها من الكربون ، وهذا الجدول مأخوذ عن المواصفات المصرية .

ويلاحظ أن هناك فولاداً صنف ٣٤ لم يحدد تركيبه الكيميائي ويطلق عليه اسم الفولاذ التجاري ولا يسمح باستعماله في المنشآت الدائمة .

٤ - الفولاذ المطروق (*Forged steel*)

ينتج من فولاد عالي القوة (*St 55*) بعد استخراجة من الفرن المفتوح ويتم تشكيل الأجزاء المطلوبة بعمليات متناوبة من التسخين والطرق وتستخدم في ذلك المطارق الإيدروليكية . وتصنع من هذا الفولاذ مختلف المحاور وكذلك عوارض الإدارة والمجالات للقطارات وغيرها وكذلك دلافين الكراسي للجسور الثقيلة .

٥ - الفولاذ المسبوك (*Cast steel*)

وينتج من الفولاذ العالي القوة ، وتشكل الأجزاء المصنعة منه عن طريق صب الفولاذ المنصهر في قوالب . وتقضي عملية الصب عناية كبيرة حتى لا تحدث في المسبوكات فقائيع هواء أو تصدعات بسبب الانكماش أثناء عملية البرودة .

وتحتاج بعض المسبوكات معالجة حرارية للتخلص من الجهود المتخلفة

(Residual stresses) الناشئة عن الانكماش وكذلك لتحسين التركيب الحبيبي للمعدن ومن بين طرق المعالجة الحرارية : التخمير (Annealing) والتصلد (Hardening) والمراجعة (Tempering) .

وتصنع من هذا الفولاذ كراسي الجسور ودلائقها والتروس وغيرها من المسبوكات التي تقتضي قوة عالية .

صناعة الألمنيوم

يستخرج الألمنيوم (Aluminium) من خاماته التي تنتشر في القشرة الأرضية وتغطي نحو ١٢ ٪ منها . ولا يوجد هذا المعدن حراً في الطبيعة بل يوجد متحداً مع عناصر أخرى أهمها الأكسجين مكوناً أكسيد الألمنيوم المعروف باسم الألومينا (Alumina) وهو مادة شديدة الثبات .

وأشهر خامات الألمنيوم البوكسيت الأحمر (Bauxite) يليه الكاولين الأبيض (Kaolin) ويحتوي على نحو ثلثي ما يحويه البوكسيت من المعدن ثم اللاتريت (Laterite) والآنورثوسيت (Anorthosite)، كما يمكن الحصول على الألمنيوم بصعوبة من رماد الفحم الحجري .

طريقة استخلاص الألمنيوم

١ - يخلط البوكسيت مع الصودا الكاوية ويلدوب الألومينا - تحت ضغط كبير - مكوناً ألومينات الصوديوم . ويترسب ما يوجد في الخام من أكاسيد الحديد وغيرها من الشوائب .

٢ - يبرد المحلول ثم يذر فيه بلورات من إيدروكسيد الألمنيوم فتتمو البلورات ويزداد حجمها حتى تترسب .

٣ - تؤخذ البلورات إلى حمام تحليل كهربائي بعد إذابتها في كربوليت* منصهر ويستخلص التيار الكهربائي الألمنيوم من المحلول ويرسب في القاع .

* Cryolite هو فلوريد الألمنيوم والصوديوم (Na_3AlF_6) وهو أبيض زجاجي .

٤ - يعبأ الألمنيوم في بواقق وتوضع في أفران بعد خلط المعدن بما يصلح من خواصه من عناصر أخرى مثل النحاس والمنجنيز والسليكون وكلها تزيد من قوة المعدن وصلابته ، والمغنسيوم الذي يزيد من مقاومة الألمنيوم للصدأ ولاسيما في مياه البحر .

٥ - تصب السبيكة المنصهرة في قوالب بحيث تنتج قطع يتراوح وزنها بين كيلوجرامين و ٢٠ طناً الأصغر منها لأغراض السباكة ولإنتاج الانابيب والمقاطع والأكبر لإنتاج الألواح .

وتصنع من الألمنيوم هياكل الطائرات وكسوتها كما تنشأ منه أبراج نقل القوى الكهربائية التي تبلغ من خفة الوزن ما يمكن من نقلها كاملة بالطائرات المروحية حيث تقام في الأماكن الصعبة ، كما تنشأ منه الجسور ، هذا بخلاف استعماله في الأغراض المعمارية .

طريقة إنتاج الألومنيوم

١ - البثق (Extrusion) حيث تدفع السبيكة في مكبس به فتحة بشكل مقطع الجزء المطلوب إنتاجه .

٢ - الدفنة على الساخن .

٣ - تشكيل الألواح المدفنة وهي ساخنة .

٤ - السباكة (Casting)

٥ - التشكيل على البارد للألواح التي لا يزيد سمكها على ٥ مم .

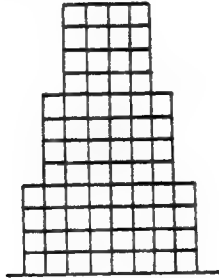
٦ - المعالجة الحرارية التي ترفع قوة المعدن فيما بين ٣٠ ٪ و ٥٠ ٪ ، ولكن ذلك يكون على حساب المطاطية .

استخدامات الفولاذ في المنشآت .

يمكن تقسيم الأغراض التي يستخدم فيها الفولاذ في المنشآت إلى ما يلي :

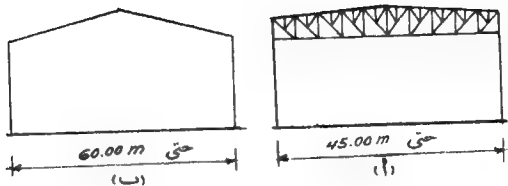
١ - المباني الهيكلية (Skeleton Buildings) المركبة من كمرات وأعمدة وتستعمل في :

- المباني السكنية والصناعية سواء أكانت من طابق واحد أم أكثر
- مباني المراحل البخارية الغضمة لمحطات توليد القوى الكهربائية .
- المباني العالية (High risers) وتتكون من عشرات الطوابق (شكل ١-٢) .

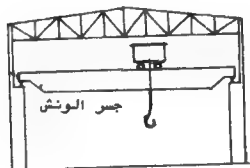


شكل (١-٢) - مبني عال

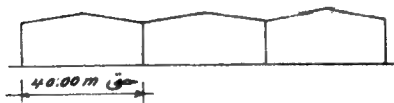
الإطارات ذات الفتحات الكبيرة وتستخدم في المصانع والورش وحظائر السيارات وحظائر الطائرات (Hangars) أو صالات العرض (Exhibition halls) وصالات الرياضة (شكل ١-٣) .



حظيرة أو مصنع



(ج) ورشة صناعية



(د) مستودع أو مصنع

شكل (١-٣) - المبانى الأخرية

- المظلات (Sheds) ولاسيما في محطات سكة الحديد .

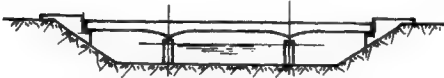
- الاسقف الدائرية مثل القباب (Domes) وتلك المحمولة على كابلات (Cable-supported roofs) وتستعمل لصالات الرياضة خاصة .

٢ - المنشآت الخاضعة لأحمال متحركة :

- الجسور : لسكة الحديد (Railway bridges) (شكل ١ - ٤)
وللسيارات (Road bridges) (شكل ١ - ٥) وللمشاة (Foot bridges)
ولحمل الأنابيب (Pipes) والسيور الناقلة في المصانع (Conveyors) (شكل ١ - ٦) . ومن الجسور ما هو ثابت (Fixed)
ومنها ما هو متحرك (Movable) (شكل ١ - ٧) .



شكل (١-٤) - جسر لسكة الحديد



شكل (١-٥) - جسر طريق طويل



شكل (١-٦) - جسر للأنابيب أو للسيور الناقل

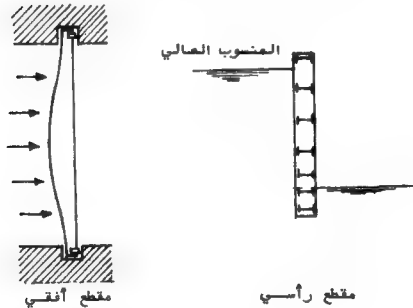


شكل (٧-١) - جسر متحرك دوار

- الرافعات (الأوناش) (Cranes) ونقص منها هنا الأجزاء الإنشائية منها.
والأوناش منها العلوية السيارة داخل المصانع (Overhead cranes)
(شكل ١ - ٣ حـ) ومنها العلوية السيارة على أعمدة خارج المباني
ومنها السيارة على هيئة إطار يسير على قضبان ومنها الدوارة مثل
المستخدمة في المرافئ وتلك التي تستخدم في مواقع الإنشاء .

٣ - الفولاذ في الأعمال المائية (Hydraulic structures)

— في أعمال الري : مثل البوابات (Gates) للقطاطر (Regulators)
(شكل ١ - ٨) وللأهوسة (Locks) .

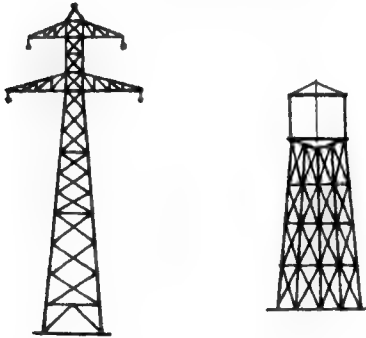


شكل (١ - ٨) - بوابة تنظرة

- في أعمال توليد الكهرباء : مثل الأنايب الضخمة وحاملاتها التي تنقل المياه من المنسوب العالي إلى التربينات .

- في أعمال المرافئ : مثل الحوض الجاف العائم (Floating dock) وبوابات الحوض الجاف الأرضي (Dry dock) .

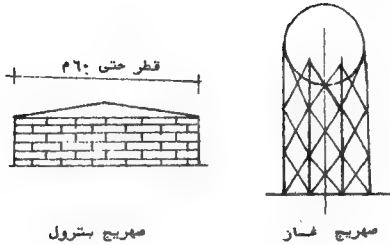
٤ - الأبراج (Towers) مثل أبراج المياه (شكل ١ - ٩) وأبراج نقل القوى الكهربائية (Transmission lines) (شكل ١ - ١٠)



شكل (١ - ٩) - برج مياه شكل (١ - ١٠) - برج كهرباء

٥ - الصواري (Masts) لأغراض الإذاعة والتلفزيون وتمتاز بعظم ارتفاعها الذي قد يصل إلى ٥٠٠ متر وتعتمد في اتزانها على شدادات مشعة بالأرض .

٦ - الأوعية :



شكل (١-١١)

- خزانات المواد النفطية سواء بالمصافي أم بالمصانع
 - خزانات غاز الاستصباح .
 - صهاريج حفظ الغازات المسالة وهي عميقة لتعرضها لضغط داخلي كبير
- (شكل ١- ١١)

- الصوامع ، لحفظ المواد الخام والمنتجات في المصانع ومنها القليلة القطر بالنسبة لارتفاعها وتسمى (Silo) ومنها القليلة الارتفاع وتسمى (Bin أو Bunker)

٧ - الفولاذ في وسائل النقل :

- البواخر بأنواعها كافة والغواصات .
- قطر سكة الحديد وعرباتها .

مميزات الفولاذ

- ١ - ذو قدرة عالية ، كما أن قدرته في الضغط تعادل قدرته في الشد ولا سيما في حالة مقاومة الانعطاف . ويلاحظ أن نسبة قدرة الشد إلى قدرة الضغط في الحديد الزهر $\frac{1}{4}$ وفي الخرسانة $\frac{1}{8}$ وفي المباني $\frac{1}{10}$
- ٢ - حد الخضوع في الفولاذ ذو قيمة عالية . ويتبع الفولاذ قانون هوك حتى حد الخضوع حيث يتناسب الجهد مع الانفعال .
- ٣ - الفولاذ مادة متجانسة كما يمكن التحكم في تكوينها الكيماوي أثناء إنتاجها وهذه ميزة لا تتمتع بها الخرسانة أو الخشب .
- ٤ - للفولاذ قابلية للسحب (*Ductility*) وتتراوح المطاطية فيه بين ٢٠ و ٢٥ ٪ وبذلك يحدث له تشوه كبير المقدار دون أن ينهار المنشأ وعلى هذا يمكن اكتشاف أخطاء التصميم أو الإنشاء ومعالجتها .
- ٥ - يمكن إجراء تعديلات في المنشآت الفولاذية أثناء الإنشاء أو بعده بسهولة ويسر ، دون حاجة إلى تكسير أو تحطيم ، وإنما فك أجزاء وإحلال غيرها مكانها .
- ٦ - يمكن إجراء تقوية منشأ قائم بإضافة قطاعات وبرشمتها أو لحامها .
- ٧ - يمكن فك منشأ بأكمله سواء أكان مبنياً أو جسراً أم غير ذلك ونقله لتركيبه

في مكان آخر .

٨ - يمكن بيع أجزاء المنشأ المعدني المستغني عنه إما للاستعمال مرة أخرى وإما خردة .

٩ - السرعة في الإنشاء حيث يمكن توفير الوقت في ناحيتين :

أ - تصنع أجزاء المنشآت في الورشة لتكون جاهزة للتركيب في الوقت الذي يجهز فيه الموقع وتصب الأساسات وقواعد الأعمدة لاستقبال الجزء المعدني .

ب - ليس هناك وقت للانتظار في أثناء التركيب كما يحدث عندما تتصلب الخرسانة مثلاً .

متاعب المنشأ الفولاذي

١ - الصدأ - ولا سيما قرب الشواطئ حيث تكثر الرطوبة وأملاح البحر . وإذا بدأ الفولاذ في الصدأ فإنه لا يتوقف . فإذا لم يعالج فإنه يقضي على القطاعات ولا سيما الرقيقة منها أو القليلة السمك ، وحتى السمكة فإن مقطعها ينقص بمقدار ما تأكسد من المعدن . هذا بالإضافة إلى ما يسببه الصدأ من انتفاخ ، إذ أن حجم الفولاذ يزداد بالصدأ إلى عشرة أمثاله مما يتسبب في انفتاح الأجزاء الموصولة أو التوائها .

ولمقاومة الصدأ يلزم طلاء أسطح الأجزاء المعرضة للجو ، ويجب أن يعنى بعملية الطلاء بحيث يكون سطح المعدن خالياً من الأتربة أو الزيت أو الشحم قبل البدء في الطلاء . وتجب صيانة المنشأ والكشف على الأجزاء المعرضة للجو - ومراشمتها (إزالة البوية القديمة) وإعادة طلائها إذا ما تبين أن الطلاء قد تقشر أو انتفخ . ويعاد الطلاء كل عدة سنوات .

٢ - النار - ليس للفولاذ قدرة على مقاومة الحريق فإذا سخن الفولاذ واحمر إلى

درجة ٥٠٠ مئوية نقصت قدرته إلى النصف ، فإذا وصلت درجة حرارته إلى ١٢٠٠ مئوية انهار تماماً .

ويمكن أن تحاط الأجزاء المعدنية (الحاملة) في المباني بالخرسانة الخفيفة أو نكسي بالملاط ، بسمك لا يقل عن ٣ سم لحمايتها من النيران .

بياني الحمل والاستطالة .

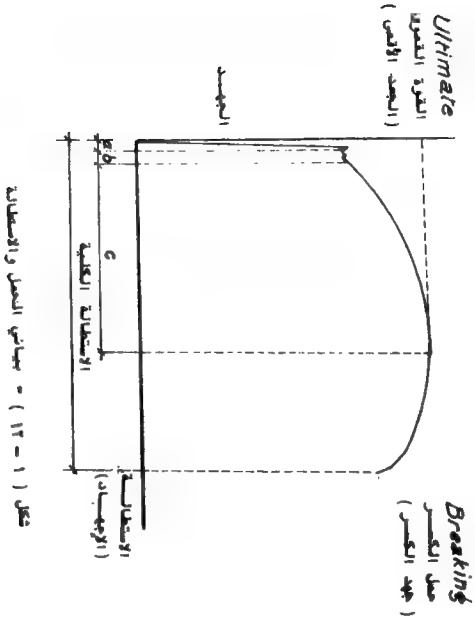
التجربة الأساسية لشرح خواص الفولاذ هي اختبار الشد ، حيث تجرى على قضيب قطره ١٢ مم معلّم عليه طول للقياس مقداره ١٠ سم .
(Gage length)

وتمر قطعة الاختبار خلال المراحل التالية ، وهي خواص يتمتع بها الفولاذ دون غيره من المعادن :

١ - مرحلة المرونة : حيث يبدأ المنحني على شكل مستقيم وهذا يعني تناسب الاستطالة مع الحمل ولما كان التغير في شكل قطعة الاختبار غير ملحوظ فإنه يمكن أن يقال إن الإجهاد يتناسب مع الجهد .

$$\text{Stress} = \frac{\text{Load } P}{\text{Cross-sectional area}} \quad \text{الجهد} = \frac{\text{الحمل}}{\text{مساحة القطع}}$$

$$\text{Strain} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{الاستطالة} = \frac{\text{الاستطالة}}{\text{الطول الأصلي}}$$



- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| a = منطقة المرونة | (Elastic range or zone) |
| b = منطقة اللدونة | (Plastic range or zone) |
| c = منطقة التقسية بالإجهاد | (Strain-hardening zone) |

ووحدة الجهد - كيلو جرام / سم² أو طن / سم²

وليس للإجهاد وحده لأنه سم / سم

ويطلق على النسبة بين الجهد والإجهاد معايير المرونة (*Modulus of elasticity*) E وهو واحد لكل أنواع الفولاذ ، ويؤخذ ٢١٠٠ طن / سم² -
بينما هو للحديد المسبوك ١٠٠٠ طن / سم² . وكبير مقدار المعايير E يدل على كبر
مقاومة المادة للتشكل .

وإذا رفع الحمل عن قطعة الاختبار في هذه المرحلة عادت إلى شكلها
الأصلي وهذا هو التعريف الطبيعي (*Physical*) للمرونة .

تنتهي هذه المرحلة عند نقطة سميت حد التناسب (*Limit of Proportionality*) .

٢ - مرحلة اللدونة : بزيادة الحمل تبدأ قطعة الاختبار في الاستطالة ولكن
دون أن ترتفع قيمة الحمل وتسمى هذه المنطقة منطقة الخضوع أو نقطة
الخضوع (*Yield point*) ويسمى الجهد عندها جهد الخضوع - وفي هذه
المنطقة لا تعود قطعة الاختبار إلى شكلها الأصلي تماماً بعد رفع الحمل ،
وإنما يتخلف معها بعض التشوه (*Deformation*) يطلق عليه
(*Permanent set*) أي الركون المستديم وتسمى هذه المرحلة مرحلة
اللدونة ، وتعرف بأنها المرحلة التي لا يعود بها الجسم إلى شكله الأصلي
بعد رفع الحمل .

٣ - منطقة التقسية بالاجهاد - بزيادة الحمل تتعرض قطعة الاختبار لاستطالة
أكبر منها في مرحلتها المرونة واللدونة ، ويبدأ المنحني في الانحناء حتى
يصل الحمل إلى متناه . وفي هذه المرحلة يتخلف بعض التشوه أكثر من
سابقها ، كما أنه إذا أعيد التحميل مرة أخرى زادت قيمة ما تحمله قطعة

الاختبار . وإذن بعد وصول قطعة الاختبار إلى هذه المرحلة تزداد قدرة تحملها (*Strength*) بينما تقل مطاطيتها (*Ductility*) .

وتسمى أعلا نقطة في المنحني القوة القصوى (*Ultimate strength*) أو الجهد الأقصى ، ويبدأ بعدها ظهور اختناق في قطعة الاختبار ويتناقص الحمل حتى تنكسر .

الإجهاد عند حد المرونة ٠,٢ %

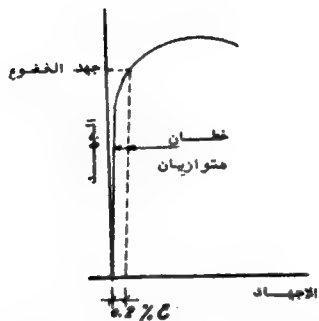
الإجهاد عند اللدونة ٠,٢٥ %

الإجهاد عند الجهد الأقصى نحو ٧٠ %

الإجهاد عند الكسر نحو ٧٥ %

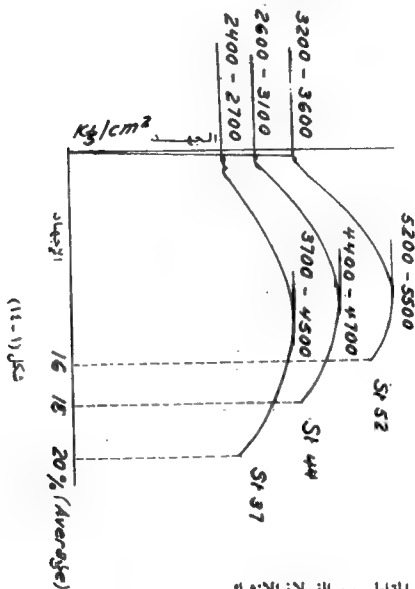
ويعرف الفولاذ بقيمة الجهد الأقصى ، فيطلق عليه مثلاً فولاذ ٣٧ (*St37*) وهذا يعني أن جهده الأقصى ٣٧ كيلوجراماً على المليمتر المربع .
وتحدد المواصفات كذلك جهد الخضوع كما تحدد حداً أدنى للمطاطية (نسبة الاستطالة) لقبول الفولاذ .

وتختلف قوة الفولاذ من بلد إلى آخر ولكن بياني الحمل والاستطالة يظل على الشكل نفسه . إلا أن هناك بعض أنواع من الفولاذ عالي الشد لا تظهر فيه نقطة الخضوع وعندئذ يفترض حدوث الخضوع فيه عند استطالة تبلغ ٠,٢ % من الطول الأصلي (شكل ١ - ١٣) .



شكل (١-١٣) بياني الجهد/الاجهاد للفلولاد القاسي

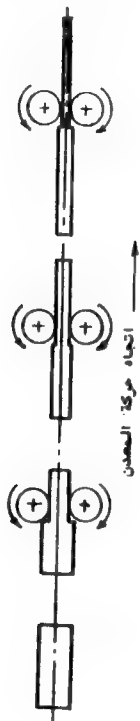
وبين شكل (١ - ١٤) ثلاثة نماذج من بياني الجهد والإجهاد لأصناف الفولاذ المستخدمة في الإنشاء .



المقاطع من الفولاذ الإنشائي

تنتج المقاطع المعدنية بطريقة الدرفلة ، من كتل يتناسب مقاسها مع ما ينتج من قطاعات . وتكرر الكتل خلال مجموعات من أزواج الدرافيل

(اسطوانات مصممة) حتى تصل إلى السمك المطلوب أو الشكل المطلوب
(شكل ١- ١٥) .



شكل (١-١٥) - عملية الدرفلة الداخلية (

ويُصدر كل مصنع جداول بها خصائص القطاعات المختلفة من مقاسات لازمة للرسم والتصنيع وبيانات لازمة للتصميم كالمساحة ومركز الثقل واتجاهات المحاور وعزوم القصور الذاتي (عزوم العطالة) وأنصاف أقطار القصور ، كما تشمل وزن المتر الطولي من القطاع .

وهذه هي المقاطع التي ينتج بها الفولاذ :

١ - الشرايط (Flats) - وهي ألواح محدودة العرض تعمل بسبك من ٣ إلى ١٠٠ مم ويعرض يصل إلى ١٥٠ مم وأطوالها تتراوح بين ٤,٠٠ و ٥,٠٠ أمتار متوقفة على سمك الشريط .

٢ - الألواح (الصفائح) (Plates) - ويتراوح سمكها بين ٣ و ٤٠ مم ويعرض يصل إلى ٢,١٠ متر أما الطول فيصل إلى ٧,٠٠ أمتار . والألواح صنفان :

أ - الألواح المخدومة (Universal) - وهي التي يعتنى فيها بحرفيها الطولين عند الدرفلة فلا تحتاج إلى تسوية .

ب - الألواح العادية ويقص حرفاها الطويلان بعد درفلتها .

٣ - الزاوية (Angle) - وهي أكثر القطاعات استخداماً ، وهي صنفان :

أ - الزاوية المتساوية (Equal angle) - وفيها يتساوى مقاس كل من رجليها وتبدأ من الزاوية ٢٠ × ٢٠ × ٣ ولكن المستخدمة في المنشآت تبدأ من ٤٥ × ٤٥ × ٥ وتصل إلى ٢٠٠ × ٢٠٠ × ١٦ . ويتساوى سمك كل من الرجلين ولكنه يختلف بمقاس الرجل الواحدة فمثلاً توجد الزاوية ٤٥ × ٤٥ × ٥ و ٤٥ × ٤٥ × ٦ و ٤٥ × ٤٥ × ٧ .

ب - الزاوية غير المتساوية (Unequal angle) - حيث يختلف طول كل من الرجلين وإن كانا يتساويان في السمك وهي صنفان :

ب ١ - وفيها يكون مقاس إحدى الرجلين ١,٥ مقاس الأخرى وتبدأ من

الزاوية ٤٥ × ٣٠ × ٤ وتصل إلى الزاوية ١٥٠ × ١٠٠ × ١٠ .

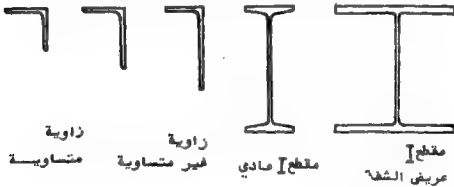
ب ٢ - وفيها يكون مفاصل إحدى الرجلين ضعف مفاصل الأخرى وتبدأ من الزاوية ٦٠ × ٣٠ × ٥ وتصل إلى الزاوية ٢٠٠ × ١٠٠ × ١٠ .

وفي كل من الصنفين يمكن أن يتعدد سمك الرجلين في المفاصل الواحد . وتنتج الزوايا بأطوال ٦ أمتار و ٨ و ١٠ و ١٢ متراً وكلها كبرت الزاوية كلما كان الطول المنتجة به أكبر ، حتى تصل إلى ١٤ متراً .

٤ - الكمرة المجرة (Channel) - وتسمى بمفاصل ارتفاعها إما بالسنتيمتر أو بالمليمتر . وتبدأ من مجرة ٨٠ وتصل إلى مجرة ٤٠٠ .

٥ - الكمرة لا وهي صنفان :

أ - الكمرة العادية (Standard I-Beam ; S.I.B.) وتبدأ من S.I.B. 100 حتى S.I.B. 600 - أي يصل ارتفاع مقطعها إلى ٦٠ سم .



شكل (١-١٦) - المقاطع المدلفنة

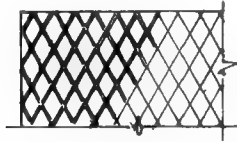
ب - الكمرة العريضة الشفة (*Broad-Flange I-Beam; B.F.I*) - وتبدأ من (*BFI100~BFI1000*) أي يصل ارتفاع مقطعها إلى متر . وتمتاز على العادية بأن عرض شفتيها يساوي ارتفاعها حتى رقم ٣٠٠ ثم يزداد الارتفاع ، ولكن يستمر العرض ٣٠٠ مم .

وتنتج بأطوال لا تقل عن ٦,٠٠ امتار . ويزداد الطول كلما كبر القطاع حتى قد يصل إلى ٢٤,٠٠ متراً .

٦ - الكمرة *T* - وانتاجها محدود . ويستعاض عنها بشق الكمرة *I* سواء أكانت عادية أم عريضة الشفة في منتصف جدها أو على أي ارتفاع يراد .

٧ - المواسير (*Pipes*)

٨ - ألواح الصاج البقلاوة (*Checkered plates*) ويحتوي سطحها العلوي على نتوءات مختلفة الأشكال أشهرها على شكل معينات ، ومنها جاء اسمها (شكل ١ - ١٧) .



شكل (١ - ١٧) - ألواح الصاج البقلاوة

وسمك اللوح بين ٦ و ٨ ملليمترات وتنتج بعرض يصل إلى ١,٥٠ متر وبطول يصل إلى ٥,٠٠ امتار . وتستعمل أغشية للفتحات في أرضيات المصانع كما تستعمل في درج السلم المعدني .

٩ - الألواح الموجة (Corrugated sheets) .

وتعمل هذه التموجات على زيادة عزم عطالة اللوح وتستعمل في تغطية الأسطح . (شكل ١ - ١٨) .



$$b = 2h$$

$$= 90 - 100 \text{ mm}$$

$$t = 0.75 - 2.0 \text{ mm}$$

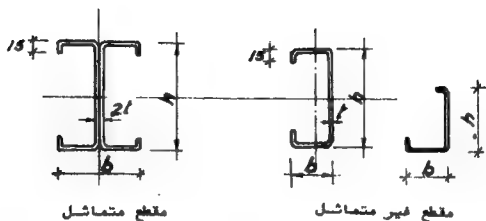
شكل (١ - ١٨) - الألواح المموجة

١٠ - المقاطع الأنبوية (Tubular sections) - وهي مختلفة المقاسات والأسلاك والأطوال :



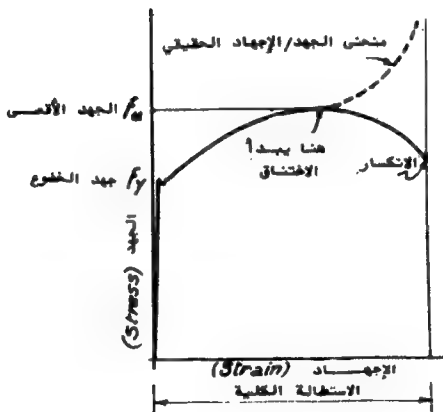
شكل (١ - ١٩) - مقطع أنبوبي

١١ - المقاطع الرقيقة (Light-gage sections) - وتصنع من ألواح تثني على البارد على حسب الشكل المطلوب :

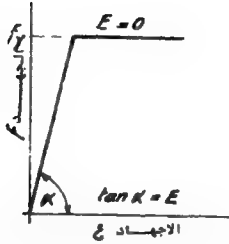


شكل (٢٠-١) - المقاطع الرقيقة

الجهد المسموح به



شكل (٢١-١) - مناسبي الجهد/الإجهاد



شكل (١-٤) - مرحلة المرونة واللينة

سبق أن أوضحنا أن المرحلة الأولى لتحميل الفولاذ تتميز بعودة ما قد حدث به من تغير في الشكل بعد رفع الحمل . وأنه بوصول الجهد إلى حد الخضوع تبدأ المادة في الانسياب دون زيادة في قدرتها . من أجل ذلك كان حد الخضوع هو النقطة التي لا يجوز أن يصل إليها الجهد في أي جزء من المنشأ وإلاّ تعرض لإجهادات يكون من نتائجها حدوث تغير كبير في شكل المنشأ . إذاً فما هو الجهد الذي يمكن تحميل المادة به بأمان ، أي بطريقة تحمل الإجهادات التي تحدث في أي جزء من المنشأ مأمونة من هنا جاء التعبير « الجهد المسموح به » .
(Allowable stress أو Permissible stress) .

وتؤثر العوامل الآتية في تحديد الجهد المسموح به :

أولاً - الحسابات وتشمل :

- ١ - تقدير الأحمال والقوى .
- ٢ - تحديد الوضع الاستاتيكي .
- ٣ - إجراء الحسابات الاستاتيكية .

٤ - اختيار المقطع الملحم .

٥ - الجهود المضاعفة .

ثانياً - المادة المستخدمة وتتأثر بما يلي :

٦ - طريقة الصناعة .

٧ - طريقة التصنيع .

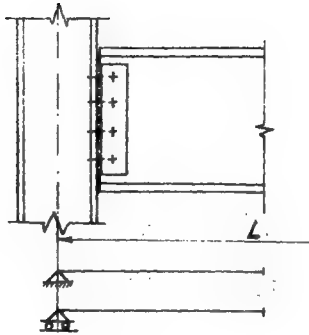
٨ - طريقة التركيب .

٩ - مقاومة عوامل البيئة .

ونوضح هنا باختصار أثر كل من هذه العوامل :

١ - تشمل الأحمال الوزن الذاتي للعضو المراد تصميمه وهذا طبعاً لا يكون معلوماً سلفاً وينضج تقديره لعوامل كثيرة أهمها الخبرة السابقة . ثم وزن الأحمال الميتة التي يحملها العضو ، وهذه تقدر من واقع بيانات تحددها الواصفات . ثم الأحمال الحية التي يتعرض لها العضو وهذه لا يمكن التحقق من قيمتها بدقة كما أنها دائبة التغير سواء في قيمتها أم في وضعها . دون رقابة حقيقية . أي أنه لا تعرف بدقة كافية قيمة الأحمال ولا كيفية توزيعها على العضو المعرض لها . وما يسري على الأحمال يسري على القوى التي قد تؤثر على العضو سواء أكانت أساسية أم ثانوية .

٢ - يقصد بتحديد الوضع الاستاتيكي الحالة التي عليها العضو وكيفية اتصاله بغيره وكيفية ارتكازه على غيره أو على ركائزه . وتفرض فروض كثيرة في هذا الشأن : فمثلاً يعتبر اتصال جوائز بأنخر أو بعمود ارتكازاً بسيطاً حتى لو كان الاتصال جانبياً بكامل عمق الجوائز (شكل ١ - ٢٢) كما أن طول



شكل (١- ٢٢) اتصال كسرة بعمود

المجاز يؤخذ بين محوري الحاملين مهما كان عرضهما . وفي بعض المواد كالخرسانة المسلحة يفترض أنها تخضع لقانون هوك أي أن الجهد فيها يتناسب مع الإجهاد .

٣ - وتخضع الحسابات الاستاتيكية لفروض الوضع الاستاتيكي كما أن كثيراً منها به تقريبات كافتراض أن الحمل يؤثر في نقطة وأن الحمل يؤثر في المستوى الذي يقع فيه محور المقطع . كما يفترض أن نقط تقابل الأعضاء في الكمرات الشبكية مفاصل ، وبذلك تحدث بالأعضاء قوى عمودية ، بينما هي تتعرض لعزوم حتى .

٤ - وفي اختيار المقطع الملائم يفترض أن مستوى المقطع يظل مستوياً بعد حدوث الانحناء وبذلك تكون الجهود موزعة بانتظام . كما يفترض أن

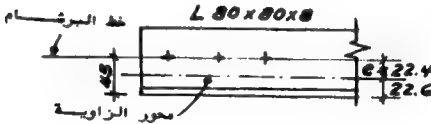
القوى المحورية تتوزع جهودها بالتساوي على القطاع . ويفترض أن الحمل يؤثر في محور العمود كثيراً ما يكون عند حافة المقطع .

• - وتعرض المقاطع الفولاذية لجهود مضاعفة ناشئة عن وجود الثقوب ، حيث يفترض أن الجهد موزع بانتظام ، بينما هو يزداد بشدة فيما جاور الثقب (شكل ١ - ٧٣) .



شكل (١-٧٣) - توزيع الجهود في مقطع به ثقب

كما تحدث في المقاطع جهود إضافية ناشئة عن عدم انطباق خط البرشام مع خط القوة ، حيث تنتقل القوة ، مع خط محور الزاوية فتتعرض بذلك لعزم حثي (شكل ١ - ٧٤) . كذلك تتركز الجهود في بعض النقاط بسبب عدم انتظام المقطع أو لوجود خدش أو قذغ . كما تتعرض الأجزاء عند لحامها للتآكل ونقص في مقطعها .



شكل (١-٧٤) - الانزياح في الزوايا المبرشمة

كما تتعرض المقاطع أثناء درفلتها لجهود ناتجة من عملية الدرفلة وتبقى بها بعد أن تبرد بسبب عدم انتظام البرودة وتسمى الجهود المنخلقة (*Residual stresses*)

٦ - وصناعة الفولاذ بالرغم من أنها تخضع لعمليات دقيقة وفحوص مخبرية مستمرة إلا أن نسبة المكونات ليست محددة تحديدا قاطعا وبالتالي فإن قيمة الجهود كذلك غير محددة بل يعطى لها مجال ذو حدين أقصى وأدنى . كذلك لا تحتفظ المقاطع المدرفلة بمقاساتها نفسها طوال انتاجها بل يفترض حدوث فروق في المقاسات تسمى بالساح (*Tolerance*) ويسمح بمقدار $\pm 0.1\%$.

٧ - أما طريقة تشغيل الأجزاء الفولاذية فيتحكم فيها العامل الإنساني من جهة إجراء القياسات ووصل الأجزاء بعضها ببعض فيحدث ألا تنطبق تقارب البرشام بعضها على بعض أو أن يتزحزح جزء من عضو عن موضعه المحدد ، كما قد يحدث بعض الانتشاء أو الالتواء في أحد الأجزاء أثناء عمليات النقل أو التشكيل . وتصل الجهود في الأجزاء عند ثقبها أو خرمها إلى ما بعد حد المرونة .

٨ - ويحدث عند التركيب جذب وضغط للأجزاء لوصلها بسبب الاختلاف في المقاسات ، مسبباً جهوداً إضافية أو حدوث التواء أو انتشاء .

٩ - وتعرض المنشآت الفولاذية لعوامل التآكل بسبب الصدأ وبسبب البري والحك فتتقصص مادتها .

لكل هذه العوامل نجد أن الوصول بالجهد إلى حد الخضوع يمثل مخاطرة ، ولذلك فإن الجهد الذي يُسمح بتشغيل الفولاذ عليه ويسمى جهد التشغيل أو الجهد المسموح به يكون نسبة من جهد الخضوع . وتسمى النسبة بين جهد الخضوع والجهد المسموح به معامل الأمان (*Factor of Safety*)

$$F.S. = \frac{\text{yield stress}}{\text{Permissible stress}}$$

وكلما كان المصمم غير متأكد من تصميمه أو المادة التي يستخدمها كلما
كبر معامل الأمان .

ويؤخذ معامل الأمان ١,٧ في المنشآت المعدنية عندما تكون الحسابات
للأحمال الميتة والحية فقط ولكن إذا زادت الدقة في الحسابات بإدخال ضغط
الرياح وغيره من القوى الثانوية فإنه يمكن خفض معامل الأمان . وفي الفولاذ
٣٧ (St37) حيث جهد الخضوع ٢٤٠٠ كيلو جرام / سم^٢ يؤخذ جهد الشد
١٤٠٠ كج / سم^٢ في الحالة الأولى ويزداد بمقدار ١٥ ٪ في الحالة الثانية .

أما في حالة أعضاء الضغط حيث احتمالات التحنيط كثيرة ، كما أن
الاقتراب من حد التحنيط يتسبب في انهيار العضو ، فإن معامل الأمان يزداد
إلى ٣ .

ومعادلة أويلر (Euler) التالية هي الأساس في حساب جهد الضغط :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_b^2} \quad (a)$$

وفيها P_{cr} الحمل الحرج الذي يحدث عنده التحنيط و L_b طول
التحنيط للعضو .

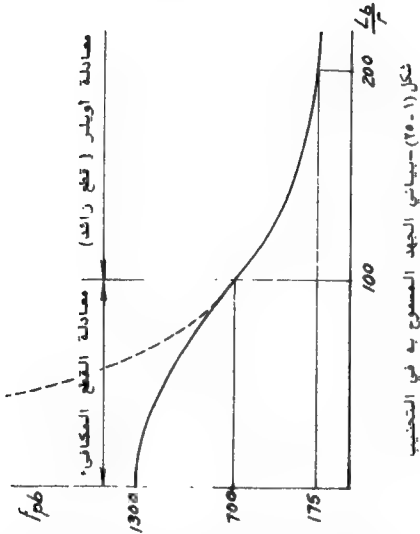
$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E \frac{I}{A}}{L_b^2} \quad (b) \text{ ومنها -}$$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r}\right)^2} \quad (c)$$

وباستخدام معامل أمان مقداره نحو ٣ يكون الجهد المسموح به
للضغط عند احتمال التحنيط:

$$f_{ob} = \frac{7000000}{\left(\frac{L_b}{r}\right)^2}$$

(1-1)



شكل (١٠-٢٥) - بياني الجهد المسموح به في التحنيب

ونظراً لأن معادلة أويلر لا تسري إلا إذا كان عضو الضغط في مرحلة المرونة أي حتى حد التناسب (f_y) والذي يقل عن جهد الخضوع (f_y) ويبلغ نحو ٢٠٠٠ كم / سم^٢ للفولاذ St37 فإنه بتعويض هذه القيمة في المعادلة (c) بعد تحويلها :

$$\frac{L_b}{r} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_b}} \quad (1-2)$$

$$\cong 102 \quad (d)$$

وقد حددت المواصفات المصرية $100 = \frac{L_b}{r}$ حداً أدنى لنسبة النحافة التي يمكن معها استخدام معادلة أويلر .

وعندما تقل نسبة النحافة عن ١٠٠ فإن تحديد الجهد المسموح به يتم عن طريق التجارب المخبرية . وتستخدم المواصفات المصرية معادلة القطع المكافئ لذلك الغرض . وهي لفلوإذ $St37$:

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \left(\frac{L_b}{r} \right)^2 \quad (1-3)$$

أما الجهود المسموح بها عندما تعترض المقاطع لمؤثرات أخرى فتؤخذ نسبة من جهد الشد المسموح به كما يلي :

٦٠٪ لجهد القص في جلوع الكمرات .
٧٠٪ لجهد القص في مسامير البرشام أو مسامير الصامولة المخروطة .
١٤٠٪ لجهد التحميل على مسامير البرشام أو مسامير الصامولة المخروطة .

٣٠٪ لجهد الشد في مسامير البرشام .
٨٠٪ لجهد الشد في مسامير الصامولة .
١٠٠٪ لجهد الشد في مسامير الصامولة المخروطة .

وبين الجدول التالي (١ - ٣) الجهود المسموح بها لأصناف الفولاذ الثلاثة التي تعتمد المواصفات المصرية $St37$ و $St44$ و $St52$.

يمكن زيادة القيم بهذا الجدول بمقدار ١٥٪ إذا أخذ في الاعتبار أكبر تجميع للجهود الأساسية والجهود الإضافية .

الجهود القصوى المسموح بها للصلب الإنشائي (حالة التحميل الأساسية)

[illegible]

سبائك الألمنيوم الإنشائي

ليس لسبائك الألمنيوم التي تستخدم في المنشآت نقطة خضوع ظاهرة كما في الفولاذ بل إن منحنى الحمل / الاستطالة يشبه ذلك الخاص بالفولاذ العالي القوة وبذلك تعتبر نقطة الخضوع فيه حيث يصل الإجهاد إلى ٠,٢ ٪ .

والاستطالة التي تحدث لقطعة الاختبار من الألمنيوم تكاد تكون أضعف مما يحدث للفولاذ الإنشائي .

ويبلغ معامير المرونة للألمنيوم الإنشائي $E = 710 \text{ t/cm}^2$ ، كما أن معامير المثانة $G = 270 \text{ t/cm}^2$ (Modulus of rigidity) وكلتا القيمتين نحوثلث نظيرتها للفولاذ ، أما معامل التمدد الحراري $\alpha = 0.000023$ فهو ضعف نظيره للفولاذ . وبذلك تكون التشوهات المرنة في المنشآت من الألمنيوم ثلاثة أضعاف نظيرتها من الفولاذ في الظروف نفسها .



شكل (١ - ٢٦)

بياني الحمل / الاستطالة للألمنيوم

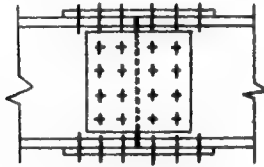
الفصل الثاني

الوصلات

(Connections)

يلزم وصل الأجزاء المعدنية في الحالات التالية :

- ١ - عند وصل قطعتين طولياً للحصول على قطعة أطول شكل (١ - ٢) .



شكل (١-٢) - وصلة طولية لعمدة I

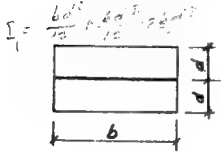
- ٢ - عند وصل عدة قطع للحصول على مقطع أكبر حيث تزداد المساحة أو عزم القصور الذاتي . (شكل ٢-٢ ، ٢-٣) .

- ٣ - عند تقوية مقطع موجود لزيادة مساحته أو عزم قصوره الذاتي أو كليهما . (شكل ٢-٤) .

- ٤ - لوصل عضو في منشأ بآخر أو بمجموعة أعضاء (شكل ٢-٥ ، ٢-٦) .



شكل (٢-٢) - مقطع مبني لكمة I



$$I_1 = \frac{bd^3}{12}$$



$$I_2 = \frac{b(2d)^3}{12}$$

$$I_2 = 4I_1$$

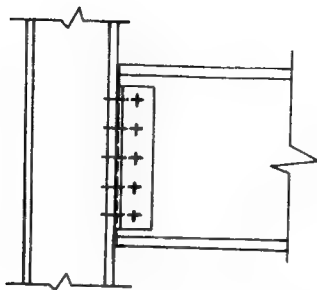
أ - قطعتان منفصلتان

ب - قطعتان موصولتان

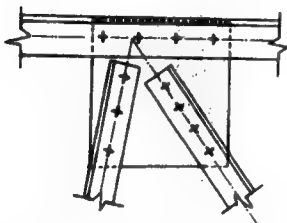
شكل (٢-٣)



شكل (٢-٤) - تقوية لكمة I بلومين



شكل (٧-٥) - وملة كعرة في مموذ



شكل (٧-٦) - مفضل في كعرة شبكية

ويستخدم في ربط الأجزاء إحدى طريقتين :

١ - الرباطات الميكانيكية وتشمل :

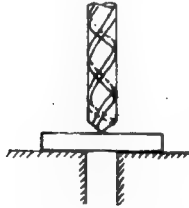
أ - البراغي (مسامير الصامولة) .

ب - البراشيم (مسامير البرشام) .

٢ - اللحام .

ولاستخدام البراغي أو البراشيم يلزم عمل ثقب في القطع التي يراد وصلها ، ولعمل الثقب طريقتان :

١ - الثقب باستعمال المثقاب (شكل ٢ - ٧) .



شكل (٢ - ٧) المثقاب

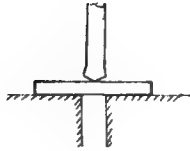
٢ - الحزم باستعمال الحزامة (شكل ٢ - ٨) . ويتسبب الحزم في حدوث سيلان

للمادة حول الثقب (شكل ٢ - ٩) وينص في الأعمال المهمة على ضرورة

برغلة الثقوب المخرومة باستعمال البرغل (Reamer) (شكل ٢ - ١٠)

وتكون البرغلة للثقب في القطع المراد وصلها دفعة واحدة حتى لا تحدث

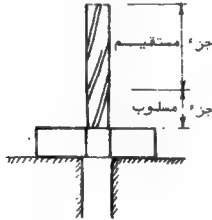
زحزحة إذا برغلت القطع منفردة .



شكل (٢ - ٨) الخرّامة



شكل (٢-٩) - سيلان المعدن بعد الشق

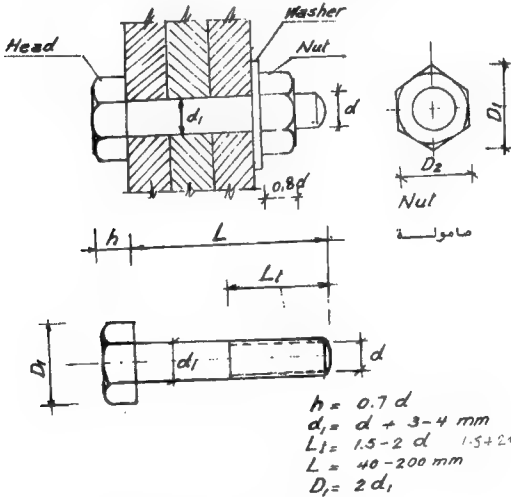


شكل (٢-١٠) - البرغل

وبالطبع تخزم الثقوب بقطر أقل من المطلوب ثم تبرغل إلى القطر المطلوب .

الرباطات الميكانيكية

أولاً - البرغي ، أو مسبار الصامولة (Bolt) (شكل ٢ - ١١) ويتكون من جسم المسبار وله رأس غالباً ما تكون مسدسة وقليلاً ما تكون مربعة وجزء من الجسم مسنن على هيئة قلاووظ (Threads) أو بريمة تدور فيها الصامولة (Nut) . وقبل ربط الصامولة يوضع بينها وبين جسم القطعة التي تربط وردة (Washer) لحماية القطعة أثناء الربط ودوران الصامولة .



شكل (٢-١١) - البرغي أو مسبار الصامولة

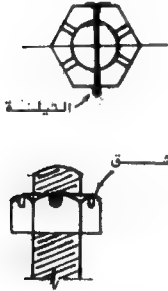
والبراغي صنتان

١ - براغي عادية وتسمى (Black bolts) أي سوداء كما خرجت من المصنع ويكون سطحها أحياناً غير منتظم وهي بالتالي لا تستخدم إلا في أعمال التركيب أو الأعمال المؤقتة . ويكون الثقب أوسع من المسار من ٢ إلى ٣ مم . وتصنع من أسياخ صلب ٣٧ .

٢ - براغي عالية القوة (High-tension bolts) وتستخدم في الأعمال الدائمة ولاسيما التركيبات التي تتم في الموقع وتسمى هذه البراغي أيضاً (Turned bolts) أي غروطة إذ أن سطحها وقطرها يسويان بدقة بواسطة المخرطة وبذلك يكاد لا يكون خلوص بينها وبين الثقب (نحو ٠,٣ مم) وقد تحتاج إلى طرق خفيف لإدخالها في الثقب الذي يجب بدوره أن يكون منتظماً تماماً . وتصنع من أسياخ صلب ٥٢ .

وتربط الصواميل ربطاً عكياً لكي لا تتحلل بسبب الاهتزازات ويمكن التأكد من ذلك بإحدى الطرق الآتية :

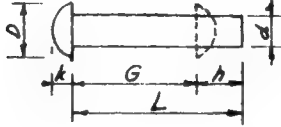
- ١ - ربط صامولة ثانية تلي الأولى .
- ٢ - الدق على نهاية المسار لكي تنطبق الأسنان .
- ٣ - استعمال ما يسمى بالتيلة وفيها يثقب المسار ، ويشق سطح الصامولة ثم تدخل التيلة في الشق والثقب ويشق طرفها .



شكل (٢-١٢) - الصامولة المشقوقة والتيلة

٤ - استعمال وردة مسنة مشقوقة (Spring washer).

أما البراغي العالية القوة فإنها تربط بمفتاح يعمل بضغط الهواء وبذلك يمكن إجهاد المسامير بتعريضه لقوة شد تضغط على الأجزاء المربوطة .



سمك الأجزاء المصوكة = G قطر الثقب = $d + 3 \text{ mm}$

$$h = \frac{4}{3} d$$

$$D = 1.6 d$$

$$K = 0.6 d$$

شكل (١٢-٢) مسامير البرشام

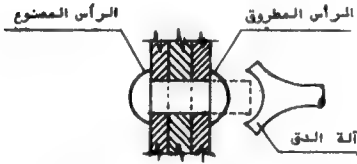
ثانياً - البراشيم (Rivets)

وتصنع من أسياخ مستديرة في مكابس خاصة لتكوين رأس لها . وللق البرشام يحمى حتى يجمد ثم يدخل في الثقب ويسند رأسه ويدق الرأس الآخر باستخدام سندان لتكوين رأس مستديرة . وتتم عملية الدق إما بطريقة يدوية باستخدام المطارق وإما باستخدام مطرقة ميكانيكية تعمل بضغط الهواء (Pneumatic hammer) ، وهي طبعاً سريعة وقوية . ويجب أن يملأ المسامير فراغ الثقب تماماً كما يجب أن يكون قابضاً على الأجزاء المصوكة .

ويكشف على البراشيم بعد الانتهاء منها بالطرق عليها بمطرقة خاصة وسماع الصوت الصادر عنها . ويحسب الطول h بحيث يمتلئ الثقب ويتكون الرأس المطروق دون فائض من مادة البرشام . وبالطبع عندما يبرد المسامير فإنه

ينكمش وينتج عن ذلك خنطه على الأجزاء المسوكة (يحدث بالبرشام في الوقت نفسه شد معادل لقوة الضغط) .

وتقاس أقطار البرشام من واقع أقطار الثقوب . وهي عادة مضاعفات لثلاثة ملليمترات (أو $\frac{1}{8}$ بوصة) والمقاسات المستخدمة في المنشآت العادية ١٤ و ١٧ و ٢٠ مم وفي الكباري ٢٣ و ٢٦ مم . وتصنع البراشيم من صلب أضعف قليلاً من صلب المادة المسوكة بها وذلك بسبب ما تتعرض له البراشيم من تصلب نتيجة عملية الدق المتتالي (Strain hardening) فهي للصلب ٣٧ و ٤٤ و ٥٢ تكون مادتها ٣٤ و ٤٠ و ٤٨ على التوالي .



شكل (٢ - ١٤) - دق البرشام

توضيب المسامير

يقصد بالمسامير :

١ - مسامير البرشام (البراشيم) .

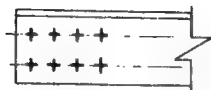
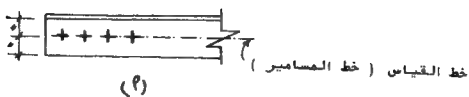
ب - مسامير القلاووظ (البراغي) علماً بأن البراغي المعترف بها في الاعمال الإنشائية هي البراغي المخروطة والتي تقربها مبرغلة .

تدق المسامير على خطوط في اتجاه القوة المؤثرة ، وتحدد هذه الخطوط حسب الأوضاع الآتية :

١ - في الزوايا التي تقل عن ١١٠° توضع المسامير في خط واحد في منتصف الجزء الخالي من الرجل .

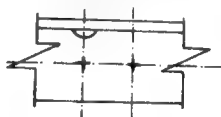
٢ - في الزوايا التي هي ١٥٠° فأكبرتوضع المسامير في خطين .

ويفضل الترتيب المترنح حيث لا يضعف كثيراً من المقطع . وتحدد جداول المقاطع أبعاد خطوط المسامير .



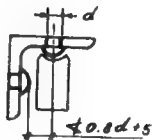
شكل (٢-١٥)

٣- وإذا وضعت المسامير في رجلي الزاوية يجب ملاحظة إمكان دق المسامير .
ويمكن أن يكون مساران في مقطع واحد إذا سمح مفاصل الرجل بذلك
والأوجب ترتب المسامير .



(١٢)

(١٣)



شكل (٢-١٦) - توزيع المسامير

ج - مقطع

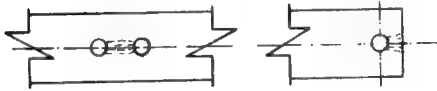
- ٤ - في الكمرات II العادية توضع المسامير في منتصف الجزء الخالي من الشفة .
- ٥ - في الكمرات I العريضة الشفة توضع المسامير في خط أو خطين حسب مقاس الشفة .
- ٦ - في كمرات المجرة توضع المسامير في منتصف الجزء الخالي من الشفة .

قواعد صف المسامير :

- ١ - تحدد قيمة قصوى وقيمة دنيا للمسافة بين مسبار وآخر (ويقصد دائماً بالمسبار محوره على امتداد جسمه) وكذلك بين المسبار ونهاية المعدن . وتسمى المسافة الأولى الخطوة ($p : pitch$) والثانية المسافة الطرفية ($e : edge distance$) .



(P) - مسافات أطول مما يجب - انبعاج المادة

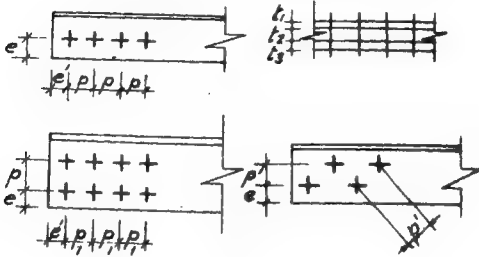


(B) - مسافات أقصر مما يجب - شرج المادة

شكل (٧ - ١٧)

وتحدد قيمة قصوى لكي لا تتسبب عملية الدق في انفتاح القطعتين الموصولتين ببعضها عن بعض وبذلك يتعرض المعدن للصداً بسبب عدم إمكان دهان الأجزاء التي كشفت . وبالطبع تكون المسافة المسموح بها

لأعضاء الضغط أصغر من تلك المسموح بها لأعضاء الشد لاحتمال حدوث انبعاج (تخيب) . كما تحدد قيمة دنيا لكي لا تسبب عملية الدق حدوث شقوق أو تمزقات للمعدن . (شكل ٢ - ١٨) .



شكل (٢ - ١٨)

وقد حددت المواصفات قيماً لكل من e , p يوضحها الجدول التالي رقم

(٢ - ١) :

جدول (٢ - ١)

القيمة الدنيا	القيم القصوى في حالة		المسافات	
	الشد	الضغط		
3d	8d	6d	الخطوة Φ	
	16t	12t		
1.5d	3d	3d	المسافة	
	8t	8t		
1.75d	3d	3d	المسافة	
	8t	8t		
4.5d	12d	9d	الخطوة المائلة للمسامير المترتبة ثم	
	24t	18t		

حيث:

$$d = \text{قطر المسار (الثقب) .}$$

$$t = \text{السلك الخارجي للأقل للتخانات الموصولة (في الرسم هي } t_1)$$

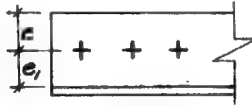
وتطبيقاً لما جاء بذلك الجدول فإن هناك حدوداً للمسار الذي يدق في زاوية . وتحدد العلاقة بين رجل الزاوية والمسار كالاتي :

$$e = 1.5 d = \text{أدنى مسافة طرفية}$$

$$3d = \text{فيكون الجزء الخالي من الرجل}$$

$$\text{إذن مقاس الزاوية } = 3d + t = \text{سمك رجل الزاوية}$$

وهذه القيمة تقريبية . ويبين الجدول التالي رقم (٢ - ٢) مقاس المسار وأقل زاوية يدق بها :

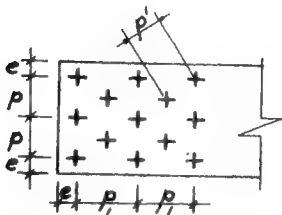


شكل (٢ - ١٩)

جدول (٢ - ٧)

أقل مقاس للزاوية	قطر المسار
٤٥	١٤
٥٥	١٧
٦٥	٢٠
٧٥	٢٣
٩٠	٢٦

وتخضع المسامير التي تدق في الجذوع أو الألواح للقواعد السابقة نفسها
أي تحدد خطوط المسامير في اتجاه القوة المؤثرة ثم توضع المسامير إما في صفوف
متعامدة وإما مترنحة .



شكل (٢ - ٢٠)

مقاومة الوصلات المبرشمة



نصي مفرد



نصي مزدوج

شكل (٢١ - ٢٠)

سبق أن أوضحنا أن عملية دق البرشام تعني :

١ - امتلاء الثقب تماماً بالمادة .

٢ - ضغط رأسي البرشام على الأجزاء الموصولة .

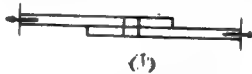
فإذا أثرت قوى على الأجزاء الموصولة فإن جسم البرشام (ومثله في ذلك مثل البراغي المحكمة) لا يتعرض لعزم انحناء وإنما تتحول القوى إلى قوى داخلية بين الأجزاء الموصولة وبين جسم البرشام وعندئذ يقاوم البرشام تأثير القوى بإحدى طريقتين :

١ - المقاومة للقص (*Resistance in shear*)

هنا يجدر التمييز بين وصليتين :

١ - الوصلة المفردة (*Lap joint*)

حيث تربط تخانتان فقط ويقاوم انزلاق أحد اللوحين على الآخر مقاومة القص في مقطع جسم البرشام وليس هذا القص ناشئاً عن عزم انحناء وإنما هو قص مباشر ولذلك كان توزيع الجهود على المقطع متساوياً . فإذا كان



شكل (٢ - ٢٢) - وصلة قص مفرد

قطر المسار d وكان جهد القص المباشر المسموح به f_s ، كانت مقاومة المسار للقص المفرد (*Single shear*) :

$$R_{ss} = \frac{\pi d^2}{4} \times f_s \quad (2-1)$$

ب - الوصلة المزدوجة (*Double joint*)

حيث تربط ثلاث مخانات تعمل واحدة في اتجاه والأخرى في الاتجاه المضاد وعندئذ يقاوم انزلاق اللوح الأوسط على اللوحين الخارجيين مقاومة القص على مستويين . وتكون مقاومة المسار للقص المزدوج (*Double Shear*) :

$$R_{ss} = \frac{2 \pi d^2}{4} \times f_s \quad (2-2)$$



(أ)



(ب)

شكل (٢-٢٣) - وصلة قص مزدوج

ج - الوصلة المضاعفة (*Multiple joint*)

وفيها تعمل قطعتان في اتجاه وثلاث قطع في الاتجاه المضاد عندئذ تحدث مقاومة القص على أربعة مستويات وبالتالي تكون المقاومة الرباعية للقص :

$$R_{ss} = 4 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_s \quad (2-3)$$



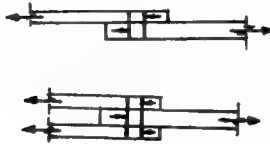
شكل (٢-٢٤) - وصلة قص ورباعي

ويلاحظ هنا أنه كما يمكن تفهم الوصلات يفترض أن أحد طرفي الوصلة مشته ويجذب الطرف الآخر حتى يتحرك ثم نتيين ما حدث للمسبار أو للقطع المسوكة .

٢ - المقاومة للتحميل (Resistance in bearing)

وفيهما يحدث ضغط مباشر (تحميل) فيما بين جسم البرشام وإحدى القطع المسوكة أو بعضها . وتحدث المقاومة وتستمر حتى يزداد جهد التحميل إلى الدرجة التي تسمح بانزلاق القطع المسوكة (في هذه الحالة يتجاوز جهد التحميل حد الخضوع) .

وفي الوصلة المفردة تحدث المقاومة على جانب واحد في كل ناحية :



شكل (٢-٢٥)

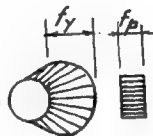
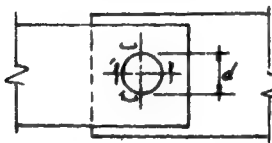
وفي الوصلة المزدوجة تحدث المقاومة على جانب في إحدى الناحيتين وعلى جانبيين في الناحية الأخرى .

وفي الوصلة المضاعفة تحدث المقاومة على حائتين في إحدى الناحيتين وعلى ثلاثة جوانب في الناحية الأخرى .



شكل (٢ - ٢٦)

حساب المقاومة للتحميل :



(أ) (ب)

شكل (٢ - ٢٧)

يلاحظ أنه عند بدء تحميل اللوحين فإن النقطة أ تتعرض أولاً لمقاومة الحمل حتى يصل الجهد فيها إلى قيمة جهد الخضوع وعندئذ يسيل المعدن وتأخذ النقطتان المجاورتان نصيبهما من المقاومة حتى يصل الجهد فيهما إلى حد الخضوع وعندئذ تشاركها النقطتان المجاورتان وهكذا . أما النقطة ب فإن الجهد فيها يكون صفرًا لموازاة المعدن لاتجاه القوى الخارجية وبذلك يكون

توزيع الجهود كالمبين في الرسم (٢) وذلك على اللوح العلوي، ويحدث التوزيع نفسه على اللوح السفلي في الجهة الأخرى . ويكون الجهد أكبر ما يمكن عند النقطة ١.

وقد وجد أنه إذا أسقطت الجهود الواقعة على محيط المسار على مستوى يمر بقطر المسار فإنه يمكن اعتبارها موزعة بانتظام . ويصرح في هذه الحالة أن يصل الجهد إلى جهد التناسب (٥) الذي يقل قليلاً عن جهد الخضوع .

وإذن فإن التحميل يحدث على سطح افتراضي مقداره $(t \times d)$ حيث t هي سمك اللوح الذي يحمل على المسار . ويحدد قدرة المسار أو مقاومته للتحميل على السمك أو مجموع الأسماك التي تتحمل في اتجاه واحد . وبذلك تكون مقاومة التحميل :

$$R_b = d \times t \times f_b \quad (2-4)$$

حيث d = قطر المسار .

t = المجموع الأدنى للتخانات التي تتحمل في اتجاه واحد .

f_b = جهد التحميل ويؤخذ 1960 kg/cm^2 لصلب ٣٧ .

ففي الوصلات التالية ، (شكل ٢ - ٧٨) .

(أ) t_2 هي الأقل وهي المخرجة :



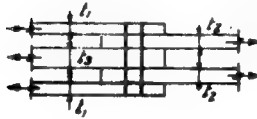
شكل (٢ - ٧٨)

ب - t_2 أو $2t_1$ ، أيهما أقل فهي المخرجة .



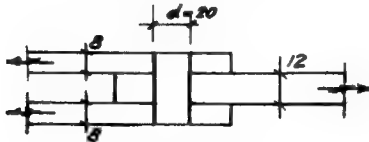
شكل (٢- ٢٨ ب)

ج - $(2t_1 + t_2)$ أو $2t_2$ ، أيهما أقل هي المخرجة .



شكل (٢- ٢٨ ج)

مثال - المطلوب حساب قدرة مسبار البرشام قطر ٢٠ مم الذي يعمل في وصلة مزدوجة بحسب الرسم بشكل (٢- ٢٩) .



شكل (٢- ٢٩)

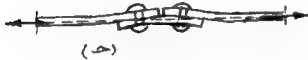
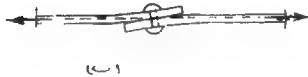
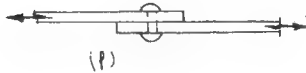
$$I - R_{as} = \frac{2\pi \times 2.0^2}{4} \times 980 = 6160 \text{ kg}$$

التحميل يكون إما على $8 \times 2 = 16$ مم . وإما على 12 مم (وهي المخرجة) .

$$2 - R_b = 2.0 \times 1.2 \times 1920 = 4608 \text{ Kg}$$

∴ قدرة المسار = 4608 كج .

ملحوظة - يلاحظ أن الوصلة المنفردة عرضة لحدوث تشويه بها بسبب عدم مركزية الحمل حيث يجب أن تكون القوتان على امتداد واحد وبذلك تتعرض الوصلة لعزم انحناء يتسبب في انثنائها .

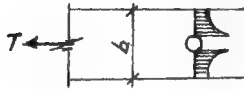


شكل (٢-٣) تشوه الوصلة المفردة

انهيار الوصلات المبرشمة :

يمكن توضيح تأثير لوح مبرشم عندما يتعرض لقوة خارجية عن طريق لوح به مسبار واحد ومعرض لشد . وقد يحدث للوح انهيار بأي من الطريقتين الثلاث الآتية ، وفي كل يفترض أن المسبار على درجة من القوة بحيث يسبق انهيار اللوح حدوث انهيار بالمسبار :

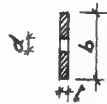
١ - مزع اللوح (Tearing of plate)



توزيع الجهود عند الثقب



مزع اللوح



المقطع الحرج

شكل (٢ - ٢١)

الجهود في اللوح قبل الثقب $\sigma = \frac{T}{b \times t}$ وهو موزع بانتظام في المقطع .

ولكن المقطع الحرج هو حيث يوجد الثقب وبذلك يجب خصمه من المساحة التي تقاوم الحمل . ويفترض أن الجهود موزع بانتظام في ذلك المقطع بالرغم من أنه ليس كذلك ، حيث يبلغ أقصاه عند مبدأ الثقب . وبذلك تكون المساحة الفعالة وتسمى المساحة الصافية :

Effective area = Net area

$$A_{net} = bt - dt$$

$$= (b - d) t \quad (2-5) a$$

ويحدث المزع بسبب ارتفاع الجهد عن الجهد المحسوب باعتباره مورعاً بانتظام .

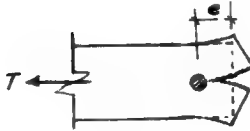
$$f_{act} = \frac{T}{(b - d) t} \quad (2-5) \text{ (الجهد الفعلي)}$$

ويلاحظ أنه إذا كان اللوح معرضاً لضغط فإن مثل هذا الانهيار لا يحدث ، لأن اللوح في موقع الثقب سوف يتحمل كل المسبار وبالتالي تكون المساحة الفعالة هي المساحة كلها .

وفد وجد أنه إذا كانت المسافة b لا تقل عن ٣ أمثال القطر كان اللوح مأموناً ضد هذا النوع من الانهيار ، وهذه هي القيمة الدنيا لخطوة المسامير التي حددتها المواصفات .

٢ - شق اللوح (Splitting of plate)

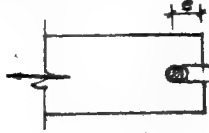
ويحدث إذا كان المسبار قريباً جداً من طرف اللوح .



(شكل ٢ - ٣٢)

٣ - قص اللوح (Shearing of plate)

ويحدث أيضاً إذا كان المسامير قريباً جداً من طرف اللوح .



شكل (٢ - ٣٣)

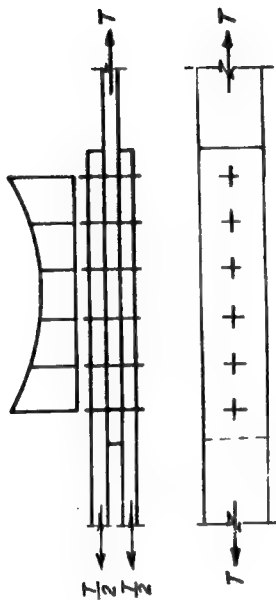
ويكون اللوح مأموناً ضد هذين الانهيارين إذا كانت المسافة الطرفية (e) لا تقل عن ١,٥ مثل قطر المسامير ولا تقل عن ١,٧٥ مثل قطر المسامير إذا كان طرف اللوح مقصوصاً .

حساب الوصلات المبرشمة :

عند شد وصلة كالمبينة في شكل (٢ - ٣٤) فإن الحمل يصل إلى المسامير الطرفيين أولاً ، وعندما يصل الجهد فيهما إلى حد الخضوع يحصل للمادة سيلان ، بحيث ينتقل ما زاد من الحمل إلى المسامير اللذين يليانها ويدورهما ينقلان الزيادة في الحمل إلى اللذين يليانها وهكذا . ويكون التوزيع الحقيقي للقوى في البراשים بحسب الموضح بالرسم . إلا أنه قد اتفق على اعتبار الحمل موزعاً على البراשים بالتساوي .

ولكي يكون هذا الفرض أقرب ما يكون إلى نتائج التجارب المخبرية وجب ألا يزيد عدد المسامير في صف واحد في اتجاه القوة على سبعة .

وبذلك يكون عدد المسامير (n) اللازمة لمقاومة قوة مقدارها (P) هي :



شكل (٦ - ٣٤) التوزيع النشط للقوى على البرشيم

$$n' = \frac{P}{R_{least}} \quad (2-6)$$

حيث (R_{least}) هي المقاومة الأصغر للمسامير من القيمتين : مقاومة القص ومقاومة التحميل . أخذين في الاعتبار حالة الوصلة وهل هي مفردة أو مزدوجة أو مضاعفة .

ويُنص على ألا يقل عدد المسامير في وصلة عن اثنين .

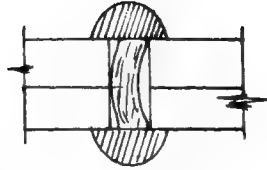
ونكي يُلهم عمل المسامير تتصور أن أحد طرفي الوصلة مثبت ونشد الطرف الآخر ، حيث ينتقل عند كل مسمار مصيب متساوٍ من الحمل من أحد الطرفين إلى الآخر وتنتجع تلك الأنصبه حتى تصل في النهاية إلى القوة المؤثرة كما في شكل (٧ - ٣٥) .



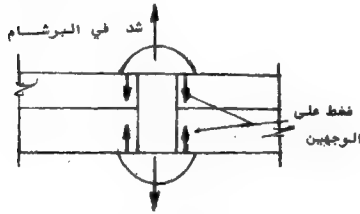
شكل (٧ - ٣٥)

المسامير في الشد :

تفضل المواصفات عدم استخدام البرايشيم إذا تعرضت لقوة شد وتفضل عليها البراغي ولاسيما المحكمة منها وعلى الأخص العالية الشد (*High-tension bolts*) ولعلّ السبب هو عدم التيقن من إحكام ملء فراغ الثقب بالبرشام وبذلك يتعرض البرشام للاستطالة تحت قوة الشد إلا أن البرشام المدقوق بطريقة سليمة يحدث فيه سبن إجهاد (شد) يجعله يقاوم قوة الشد التي سيتعرض لها بأمان .



أ- رسم مبالغ فيه لبرشام غير متقن الدق.



ب- برشام محكم الدق

شكل (٢ - ٣٦)

ثالثاً - اللحام (Welding)

اللحام هو عملية صهر قضيب من معدن ووضع المعدن المنصهر في الفراغ بين قطعتي المعدن المراد لحامهما وبحيث تصل حرارة منطقة اللحام إلى درجة الاحمرار حتى يلتصق المعدن المنصهر بالمعدن الأصلي في كل من جانبي الوصلة على أن تصبح القطعتان وحدة عندما تبرد الوصلة .

وتنص المواصفات على أنه عند اختبار وصلة ملحومة يجب أن تنكسر قطعة الاختبار خارج منطقة اللحام .

وتتم عملية التسخين واللحام بطريقتين :

١ - اللحام بالغاز - (Oxy-acetylene-Welding)

ويطلق عليه في السوق اللحام بالأكسجين وهو في الحقيقة استخدام خليط من غازي الأوكسجين والاسـتـلين في إنتاج الحرارة اللازمة لصهر قضيب اللحام وتسخين الجزئين المراد لحامهما . ويلتهب غاز الاستلين بمساعدة الأكسجين لاعطاء تلك الحرارة .

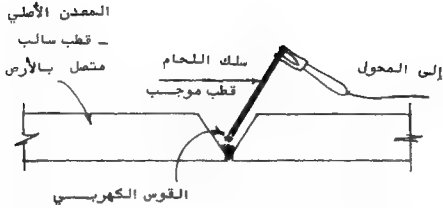
كما يستخدم ذلك الخليط في أعمال قطع الأجزاء الفولاذية ولا سيما السمكة منها أو التي لا يسهل قطعها بالمقص أو بالمنشار .

٢ - اللحام بالقوس الكهربى (Electric-arc welding)

ويطلق عليها في السوق اللحام بالكهرباء . وتنتج الحرارة المطلوبة عن طريق استخدام قضيب اللحام على أن يكون أحد قطبي الكهرباء ويكون القطب الثاني هو المادة المطلوب لحامها وينشأ فيما بين القطبين قوس كهربى تكفي حرارته لصهر معدن القضيب وتسخين المعدن الأصلي .

ويستخدم لهذه العملية تيار مستمر ذي ضغط (فولت) منخفض يتراوح بين ٥٠ و ٨٠ فولت بينما الأمبير عال جداً يصل إلى ٣٠٠ أمبير ، ويستعان على ذلك بمحول للتيار خاص بعمليات اللحام .

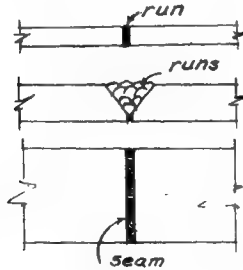
ولما كانت أسماك الأجزاء المطلوب لحامها مختلفة كانت هناك أهمية لتحديد كمية الحرارة الصادرة عن المحول ، كما تستخدم مقاسات مختلفة لقضبان اللحام حيث تزداد سمكاً كلما زادت سماكة الأجزاء الملحومة .



قضييب (سلك) اللحام (Electrode) المعدن الأصلي (Parent metal)

شكل (٢ - ٣٧) - اللحام بالقوس الكهربائي

وتسير عملية اللحام على هيئة خطوط (Runs) إذ لا يملأ الفراغ دفعة واحدة ويسمى خط اللحام المنتهي Seam .



شكل (٢ - ٣٨)

سلك اللحام :



شكل (٢ - ٣٩)

تُلزم لصهره حرارة عالية ترفع حرارته حتى يجمد ثم ينصهر ، وكذلك لتسخين المعدن الأصلي . وترتفع قابلية الصلب للصدأ كلما ارتفعت درجة حرارته ، ويكون هناك احتمال اختلاط الصدا عديم القوة بالمعدن المنصهر مما يتسبب في ضعف اللحام . ولذلك ابتكرت طريقة لحماية المعدن من الصدا أثناء عملية اللحام وبعد انتهائها . إذ يكسى سلك اللحام بمادة هشة لها هذه الخواص :

١ - درجة انصهارها أعلى من درجة انصهار الصلب .

ب . كثافتها أقل من كثافة الصلب .

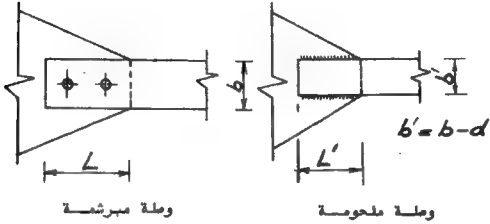
جـ - أن تكون هشة سهلة التقطيف .

وتبرز الكسوة على السلك طول مدة اللحام وبذلك تحمي المادة من التأكسد وذلك نظراً لأن الكسوة تنصهر أبطأ من المعدن ، ونظراً لأنها أخف كثافة فهي بذلك ، وهي منصهرة ، تطفو على الصلب المنصهر ، على هيئة خبث . وبعد اللحام يحمي الخبث الصلب من التأكسد لأنه يغطيه . وبعد أن يبرد اللحام يترك على الخبث بطريقة خفيفة فينكسر وتكشف مادة اللحام لماعة خالية من الأكسدة . ويزال الخبث من اللحام قبل إجراء خط لحام جديد فوق الخط السابق وكذلك بعد الانتهاء من اللحام كلية .

مزايا اللحام

١ - الوفّر في كمية الصلب المستخدم ، كما يتبين من شكل (٢ - ٤٠) ،

حيث :



العرض الفعّال (b-d)
طول الوصلة L

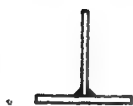
العرض الفعّال b' - أصغر .
طول الوصلة L' - أقل

شكل (٢ - ٤٠)

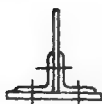
- أ - لا ينعصم جزء من المقطع بسبب ثقب المسامير .
- ب - طول الوصلة للقوة نفسها أقل في حالة اللحام .
- ج - لا يحتاج في اللحام إلى أجزاء مساعدة للوصلات (شكل ٢ - ٤١) .
- د - ليس هناك تحديد لحد أدنى لمقاس الزوايا المستخدمة .

٢ - الوفّر في المجهود

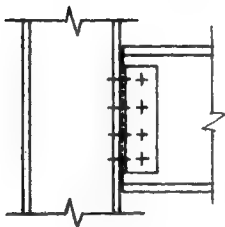
- أ - لا تحتاج الرسومات إلى كثير من التفاصيل كما هو الحال في تحديد عدد المسامير ومواقعها . وأبعادها ، شكل (٢ - ٤٢) :



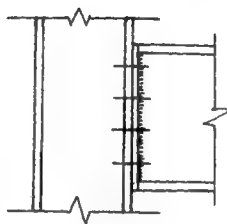
(أ)



(ب)

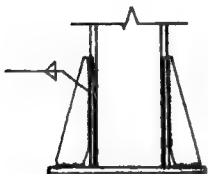


(ج)

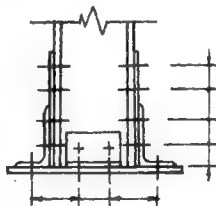


(د)

شكل (٢-٤١)



قاعدة ملحومة

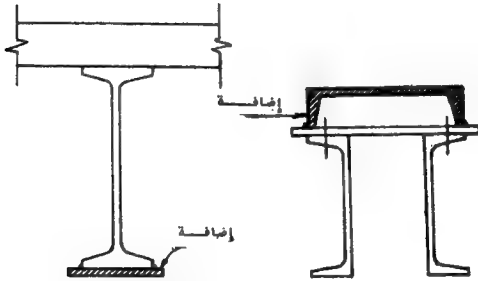


قاعدة مبرشة

شكل (٢-٤٢)

ب - العمل في الورشة أقل ، كقياس مقاسات المسامير وأبعادها ثم أعمال التنقيب والتخريم والبرغلة وما يقتضيه ذلك من الاحتياط في توفيق الثقوب بعضها على بعض وما يتطلبه العمل من مجهود في نقل القطع المختلفة وتناولها .

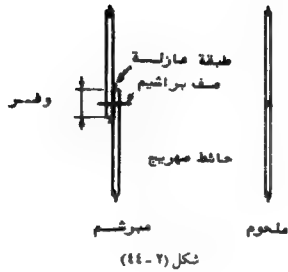
ج - سهولة إجراء التعديلات والتقويات ، بل إمكان عمل ما لا يمكن عمله بالمسامير .



شكل (٢-٤٣) - التقوية بالإضافة

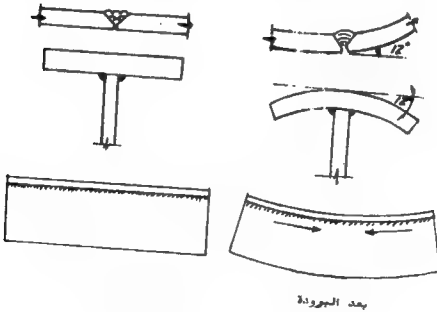
٣ - تمنع تسرب السوائل والغازات من صهاريج المواد البترولية (بالإضافة إلى الوفر في الألواح)

٤ - لا ضوضاء كالناشئة من دق البراشيم .



متاعب اللحام :

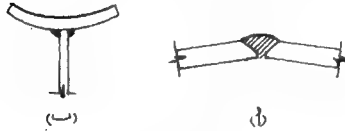
- ١ - الالتواءات الناشئة عن التمدد غير المنتظم للمعدن عند تسخينه ثم الانكماش غير المنتظم عندما يأخذ المعدن في البرودة ، بالإضافة إلى تقلص مادة اللحام عند برودتها .



شكل (٧-٤٥) - التشوهات الناشئة من اللحام

وتعالج هذه الالتواءات كما يلي :

- آ - البدء باللوحين مائلين بالعكس (شكل ٢ - ٤٦ - أ) .
- ب - البدء باللوح منحنيًا بالعكس (شكل ٢ - ٤٦ - ب) .



شكل (٢ - ٤٦)

- ج - عدم اللحام في خط مستمر ؛ ولكن يقطع مسير خط اللحام أجزاء ليست متعاقبة ولكن متفرقة كما في شكل (٢ - ٤٧) .

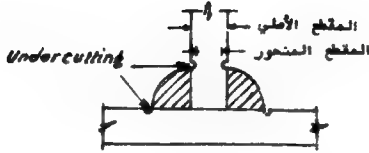


شكل (٢ - ٤٧)

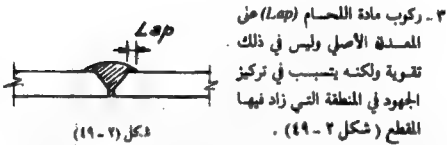
٢ - فقدان جزء من المقطع :

عملية اللحام فنية تقتضي اختيار سلك اللحام المناسب وكذلك كمية التيار (الأمبير) اللازمة لصهر السلك وتسخين المعدن الأصلي .

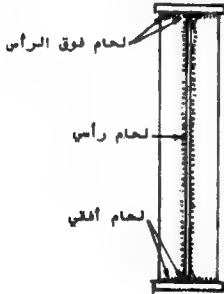
فإذا حدث وكانت الحرارة الناشئة عن القوس الكهربائي أعلى من اللازم أو استمر القوس الكهربائي في نقطة مدة أطول من اللازم فإنه يحدث أن ينصهر المعدن الأصلي قرب منطقة اللحام ويسيل ، وينتج عند ذلك ما يسمى بالنحر (Undercutting) ويفقد جزء من المقطع . (شكل ٢ - ٤٨) .



شكل (٢-٤٨)



٤- اللحام فوق الرأس (Overhead welding) ويعني أن تكون منطقة اللحام أهل من رأس العامل ويحتاج مثل هذا اللحام إلى جناية كبيرة حتى يمكن ملء الفراغ المطلوب وحتى لا يسيل مصهور سلك اللحام . كما يستخدم مثل هذا النوع من اللحام سلك خاص به .

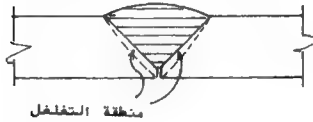


شكل (٢-٥٠)

• وهناك متاعب أخرى يتسبب فيها العامل غير الماهر ومنها :

أ - عدم تسخين المعدن الأصلي تسخيناً كافياً لدرجة قرب الانصهار (Fusion) حتى يمكن أن يلتصق به المعدن المنصهر تماماً .

ب - يفترض في اللحام الجيد أن تكون هناك منطقة تغلغل (Penetration) وفيها يحدث امتزاج بين المعدن الأصلي ومعدن سلك اللحام .



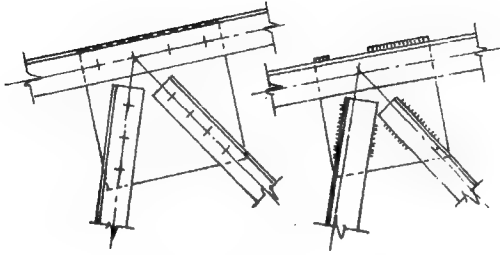
شكل (٢-٥١)

ج - أن يترك العامل أجزاء من خبث كسوة سلك اللحام تضمف من مقطع مادة اللحام .

د - أن يهمل العامل في ملء الفراغ المطلوب فيبقى به فراغ هوائي ، أي أن مقطع مادة اللحام يكون غير كامل .

٦ - جساءة الوصلات الملحومة (Rigidity of welded joints)

بمقارنة الوصلات الملحومة بالوصلات المبرشمة يتضح أن أعضاء الوصلة المبرشمة يمكن أن تدور إلى حد ما ، حيث توجد البراشيم في نقط معينة ويمكن أن تنزلق الأعضاء على لوح التجميع عند البراشيم أما في حالة اللحام فإن دوران الأعضاء صعب جداً بسبب استمرار خط اللحام على العضو . فالوصلة الملحومة أكثر جساءة .



مفصل مبرشم

مفصل ملحوم

شكل (٢-٥٢)

ويعرض بعضاً من آثار هذه الجسامة أن الوصلة الملحومة تكون أصغر من وصلة مبرشمة تعادلها في القوة .

أنواع اللحام (Types of welds)

هناك نوعان رئيسيان وهما :

١ - لحام النهايات (Butt weld) .

٢ - لحام زاوي (Fillet weld) .

أولاً - لحام النهايات :

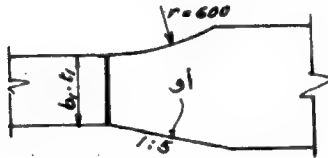
حيث تلتقي نهايتا جزأين ويتم لحامهما ليكونا جزءاً واحداً .
وتكود مساحة اللحام هي المساحة الأصغر للجزأين الموصولين .



(ا)



(ب) - اختلاف السمك

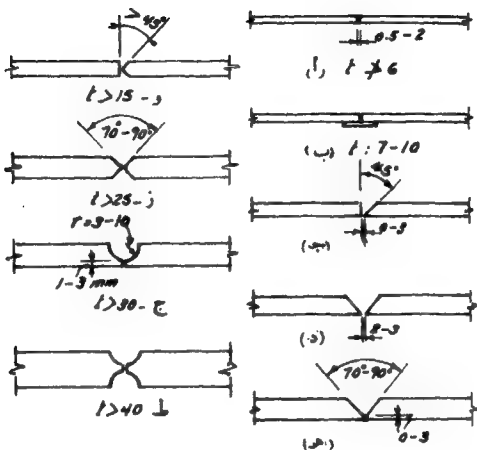


(ج) اختلاف العرض

شكل (٢-٥٣)

ويأخذ هذا النوع من اللحام الأشكال الآتية :

آ - متعامد (Square) ويكون في الأسلاك الصغيرة حتى يمكن ضمان وصول مادة اللحام فيها بين القطعتين (شكل ٢-٥٤) . وقد يقتضي الأمر وضع شريط تحت الفاصل لضمان ملء الفراغ . (شكل ٢-٥٤ ب) .



ب - نهاية واحدة مشطوفة (Single bevel - J) شكل (٢ - ٥٤ - ح)

ج - النهايتان مشطوفتان (Single V) شكل (٢ - ٥٤ - د ، هـ)

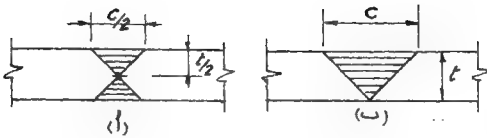
د - نهاية مشطوفة من الجهتين (Double bevel) or (k) شكل (٢ - ٥٤ - و)

هـ - نهايتان مشطوفتان من الجهتين (Double-V) or (X) شكل (٢ - ٥٤ - ز)

و - نهايتان مقعرتان من سطح واحد (Single-U) شكل (٢ - ٥٤ - ح)

ز - نهايتان مقعرتان من الجهتين (Double-U) شكل (٢ - ٥٤ - ط)

ويلاحظ أنه يجب الاقتصاد في كمية اللحام حتى ولو اقتضى ذلك تجهيز أحرف القطع بمجهر أكبر ، فمثلاً كمية اللحام في الوصلة آ نصف كمية اللحام في الوصلة ب في شكل (٢ - ٥٥) :



شكل (٢-٥٥)

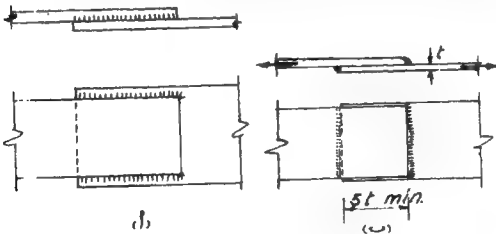
$$\begin{aligned} \frac{1}{2} c t &= \frac{t \times c}{2} && \text{اللحام في ب} \\ \frac{1}{4} c \times t &= 2 \times \frac{c}{2} \times \frac{t}{2} \times \frac{1}{2} && \text{اللحام في أ} \\ &= \frac{t \times c}{4} \end{aligned}$$

ثانياً - اللحام الزاوي :

ويأخذ هذا النوع من اللحام الأوضاع الآتية :

أ - لحام متطابق ، وهو صنفان :

١ - لحام جانبي (Slide lap-weld) حيث اللحام في اتجاه القوة (شكل ٢-٥٦) .



شكل (٢-٥٦)

٢ - لحام طرفي *End lap-weld* حيث اللحام عمودي على اتجاه القوة (شكل ٢ -

٥٦ ب) .

ب - لحام تقابلي ، كما في الأوضاع المبينة بشكل (٢ - ٥٧) وأصنافه :

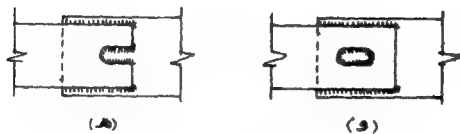
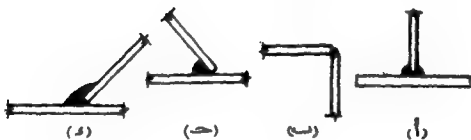
١ - لحام تبي (*T-weld*) - أ

٢ - لحام ركني (*Corner weld*) - ب

٣ - لحام مائل - ج و د

٤ - لحام نافذ (*Plug weld*) - هـ

٥ - لحام مشقبة (*Slot weld*) - و



شكل (٢ - ٥٧)

مقاس اللحام - (Size of weld)

١ - اللحام التقابلي مقاسه هو مقاس أقل اللوحين سمكاً وعرضاً ، أي أقلها مساحة عند منطقة اللحام ، كما في شكل (٢ - ٥٣)

مقاس أو مساحة اللحام $b \times t$ أو $b_1 \times t_1$

٢ - اللحام الزاوي لهذا اللحام طول (L)

ومقطعه مثلث ومقاسه هو طول ضلع المثلث ويساوي (s) ولما كان مثل هذا المقطع غير عملي فإنه يأخذ أحد الأشكال المبينة في شكل (٢ - ٥٨) وعندئذ يكون (s) كالمبين

بالرسم . أما الطول الفعال (L) للحام الزاوي فيجب قياسه بعد خصم الاستدارة (s) من كل طرف . والطول (L') هو الذي يوضح بالرسومات التنفيذية (شكل ٢ - ٥٨

٥٨ - ٩) .



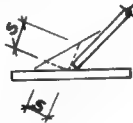
أ - لحام مستقيم



ب - لحام مقعر



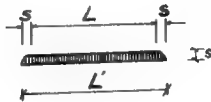
ج - لحام محدب



د - زاوية منفرجة



هـ - زاوية حادة



شكل (٢ - ٥٨)

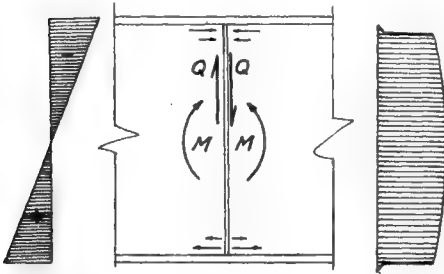
الجهود المسموح بها في خطوط اللحام :

(Permissible stresses in welded seams) :

أولاً - كيف تعمل خطوط اللحام

١ - اللحام التبادلي :

يتعرض خط اللحام للجهود نفسها التي تتعرض لها القطعتان الموصولتان ، فقد يتعرض لضغط أو شد أو قص .



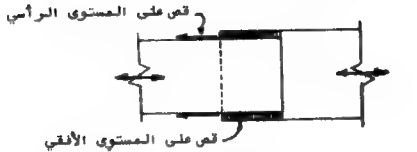
الجهود العمودية

جهود القص

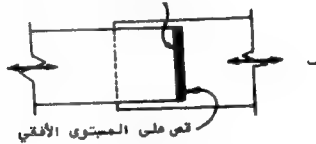
شكل (٢-٥٩) الجهود في مقطع كمرة

ويمكن معاينة هذه الجهود الثلاثة في وصلة جذع كمرة لوحية حيث يتعرض الجذع لعزم حني ولقوة قص . ويسبب عزم الحني جهوداً عمودية في لوح الجذع : ضغطاً في نصفه العلوي وشدّاً في نصفه السفلي . وتسبب قوة القص جهوداً في الاتجاه الطولي لخط اللحام .

٢ - اللحام الزاوي .



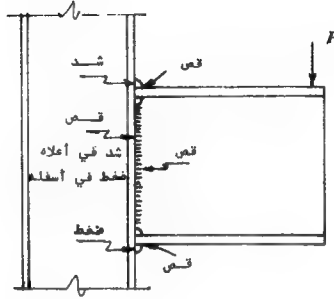
تشد أو ضغط على المستوى الرأسي



شكل (٢-٦٠) - الجهود في خطوط اللحام

وله سطحان قد يتعرض كلاهما لجهود قص (شكل ٢-٦٠) وقد يتعرض أحد السطحين لجهود شد أو ضغط بينما يتعرض السطح الآخر لجهود قص (شكل ٢-٦٠ ب) .

ويمكن معاينة هذه الأنواع كلها في وصلة كابولي كما في شكل (٢-٦١) :



شكل (٢-٦١) - كابولي ملحوم

ثانياً - الجهود المسموح بها :

سبق أن أشرنا إلى أن عملية اللحام تحتاج إلى مهارة لا تيسر دائماً، ولذلك يقسم اللحام إلى درجتين :

١ - لحام الدرجة الأولى

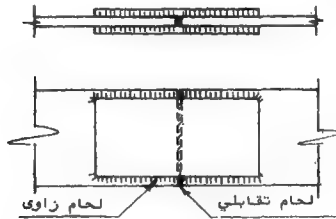
٢ - لحام عادي ، جيد

وتكون الجهود المسموح بها في لحام الدرجة الأولى أعلى من تلك المسموح بها في اللحام العادي . ويبين الجدول رقم (٢ - ٣) الجهود المسموح بها في خطوط اللحام .

جدول (٢ - ٣)

نوع اللحام	درجة اللحام	الجهود المسموح بها في حالة		
		الشد	الضغط	القص
لحام تقابلي	عادي جيد	$0.7 f_{\sigma t}$	$1.0 f_{\sigma t}$	$0.55 f_{\sigma t}$
	درجة أولى	$1.0 f_{\sigma t}$	$1.1 f_{\sigma o}$	$0.60 f_{\sigma t}$
لحام زاوي	عادي جيد	$0.4 f_{\sigma c}$		
	درجة أولى	$0.45 f_{\sigma t}$		

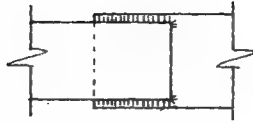
هذا ، وإذا ضمت وصلة نوعين من اللحام كما في الوصلة المبينة في شكل (٢ - ٦٧) فإن الجهود المسموح بها لجميع خطوط اللحام هي تلك المسموح بها للحام الزاوي .



شكل (٢ - ٦٧)

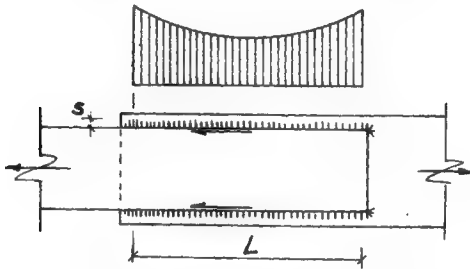
ملاحظات في شأن اللحام :

١ - يجب أن يلتف خط اللحام حول نهاية الجزء الملحوم شكل (٢ - ٦٣)



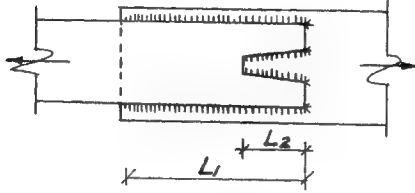
شكل (٢ - ٦٣)

٢ - يفترض في اللحام الزاوي أن جهود القص توزع بانتظام لكنها في الحقيقة ليست كذلك (مثل ما هو حادث في حالة المسامير) حيث يكون الجهد أعلى في النهايتين منه في الوسط (شكل ٢ - ٦٤) ولذلك - مثل ما هو حادث في حالة المسامير - يحدد طول خط اللحام الزاوي بالنسبة إلى مقاسه .
فيجب ألا يزيد الطول على ٦٠ مرة مقاس اللحام أي $L \leq 60 s$.



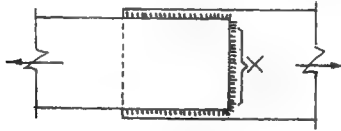
شكل (٢-٦٤) - التوزيع الفعلي للجهود في اللحام

من أجل ذلك يلجأ إلى اللحام النافذ لتقصير طول خط اللحام (شكل ٢ - ٦٥) .



شكل (٢ - ٦٥)

٣ - لا ينصح بلحام نهاية اللوح بالإضافة إلى سوابه حيث أن المعقول ألا يعمل لحام النهاية إلا بعد أن يكون اللحام الجانبي قد أخفق ، والعكس صحيح .



شكل (٢ - ٦٦)

٤ - إذا تعرض خط اللحام لجهود عمودية مصحوبة بجهود قصر كما في خط اللحام الملاصق للمعمود في شكل (٢ - ٦٦) وجب ألا تزيد الجهود الأساسية فيه عن الجهود المسموح بها في خطوط اللحام .

حساب الوصلات الملحومة ، باعتبار الدرجة العادية للحام
أولاً - اللحام التبادلي :

٢ - في حالة الشد :

إذا كان مقياس اللوح $(b \times t)$ فإن مقدرة اللحام لا تساوي إلا :

$$S_w = b \times t \times 0.7 f_{p1} \quad (2-7)$$

وعلى هذا يجب ألا تزيد القوة في اللوح الملحوم على S_w . فإذا كان المراد نقل مقدرة اللوح كلها ، كان ذلك بإحدى طريقتين :

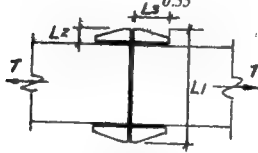
آ - إضافة لوحين تطابقين كما في شكل (٢ - ٦٧) ، وفي هذه الحالة يشترك خط لحام من نوعين مختلفين ، وينخفض الجهد المسموح به في اللحام التبادلي إلى $0.4 f_{p1}$.

ب - إضافة لوحين جانبيين ، وفي هذه الحالة تكون خطوط اللحام كلها تقابلية ويكون :

$$L_1 = \frac{b \times t \times f_{p1}}{0.7 \times t \times f_{p1}} = \frac{b}{0.7}$$

وتكون الجهود في خط اللحام L_3 جهود قص ويكون طولها :

$$L_3 = L_2 \times \frac{0.7}{0.55}$$



شكل (٢ - ٦٧)

ب - في حالة الضغط :

لا تنقص مقدرة اللوح لأن الجهد المسموح به في خط اللحام الواقع تحت ضغط هو الجهد نفسه المسموح به للوح المضغوط .

ح- في حالة القص

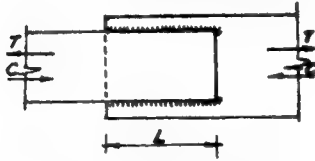
الجهود المسموح بها في خط اللحام هي $0.55f_u$ بينما هي في ألواح الجذوع $0.6f_u$ والفرق يمكن معالجة خط اللحام لمقاومته .

ثانياً - اللحام الزاوي :

١ - الوصلة المفردة (شكل ٢-٦٨)

$$T \text{ or } C = 2 \times L \times s \times 0.4 f_u \quad (2-8)$$

وهاءة يفرض المقاس s ، (الذي يجب ألا يزيد على سمك اللوح المراد لحامه) . ومن المعادلة (2-8) نحصل على طول خط اللحام L



١ - وصلة مفردة



ب - وصلة مزدوجة

شكل (٢-٦٨)

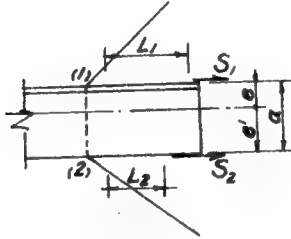
٢ - الوصلة المزدوجة (شكل ٢ - ٦٨ ب) :

$$T \text{ or } C = 4 \times L \times s \times 0.4 f_{ot} \quad (2-9)$$

٣ - وصلة عضو مقطعه زاوية :

نظراً لأن مركز ثقل الزاوية ليس في منتصف الرجل فإن القوة (S_1) تكون أكبر من (S_2) وبذلك يكون خط اللحام (L_1) أطول من (L_2) شكل (٢ - ٦٩) .

وإذا أريد أن يكون طول الخطين واحداً أمكن تغيير مقياس اللحام s بجعله أصغر عند (2) :



شكل (٢ - ٦٩)

$$S_1 = \frac{S \times e'}{a}$$

$$S_2 = \frac{S \times e}{b}$$

$$S_1 = 0.4 f_{ot} \times s_1 \times L_1$$

$$S_2 = 0.4 f_{ot} \times s_2 \times L_2$$

$$s_2 = s_1 \times \frac{S_2}{S_1}$$

الفصل الثالث

الجمال الفولاذية (Steel Trusses)

مقدمة

من المسلم به أن هناك علاقة بين عمق الكمرة وفتحتها أو مجازها فكلما اتسعت كلما تطلبت الكمرة عمقاً أكبر . والمطلب الأساسي في الحقيقة هو عزم المعطلة حيث أن المعادلة التي تحدد العلاقة بين عزم الحني والجهد الحادث في المقطع هي :

$$f = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{Z} \quad (3-1)$$

وإذا استتبع زيادة الفتحة كبر عزم الحني ؛ فليكن يحتفظ بالجهد في الحدود المصرح بها يجب أن تزداد (Z) .

وليس الجهد هو الحكم الوحيد في تصميم الكمرات فإنه يُطلب ألا يزيد سهم الانحناء على حدود معينة حددتها مواصفات كالآتي بالنسبة للفتحة

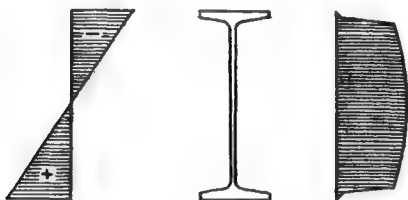
المباني	٤٠٠ : ١
كباري الطرق	٨٠٠ : ١
كباري سكة الحديد	٩٠٠ : ١

لذلك حددت بطريقة عملية أن تكون نسبة عمق الكمرة إلى فتحتها من ١٢ : ١ إلى ٨ : ١ (متوسطها ١٠ : ١) *
القصور الذاتي

ويمكن في اختيار المقاطع ، بل يفضل ، استخدام المقاطع المجازة سواء
 أكانت مقاطع I عادية أم I مريضة الشفة حيث أنها أوفر في التشغيل .
 وبدراسة مقطع الكرة I يتضح أنه لا يعمل بكامل طاقته في جميع أجزائه .
 فإنه يتضح أن شفتي المقطع تقاومان نحو ٨٥٪ من عزم الحني الذي يتعرض له
 ويقاوم الجذع ١٥٪ منه فقط .

كما يتضح أن جذع المقطع يقاوم نحو ٩٧٪ من قوة القص التي يتعرض
 لها المقطع ولا تكاد الشفتان تقاومان شيئاً من القص .

من ذلك يتبين أن الكرة البسيطة التحميل لا تحتاج إلى كثير من الجذع
 في جزئها الأوسط كما لا تحتاج إلى الشفتين نحو طرفيها .



توزيع الجهود العمودية

توزيع جهود القص

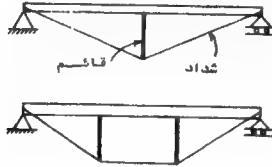
شكل (٣-١) - توزيع الجهود في مقطع كرة

وكلما زاد عمق الكرة كلما قلت الحاجة إلى المادة في منطقة الجذع .
 وقد مرت الكرة في مراحل كثيرة عندما تعدت قيمة Z المطلوبة أكبر قيمة في
 جداول الكمرات . هذا بالإضافة إلى أنه بزيادة العمق يمكن توفير في المادة
 التي تستخدم في الشفتين بشرط عدم المبالغة في عمق الجذع .

ومن الكمرات العميقة المبينة الأشكال التالية :

١ - الكمرات المشدودة (Trussed Beam)

حيث يزداد العمق بإضافة شداد للكمرة يكون عضو شد وتقل عزوم الانحناء في الكمرة إلى درجة كبيرة ، وتعرض الكمرة ، بالإضافة إلى عزم الحني ، إلى قوة ضغط متناسبة لقوة الشد في الشداد .



شكل (٢-٣) - الكمرة المشدودة

٢ - الكمرات الشبكية (Latticed Beam)

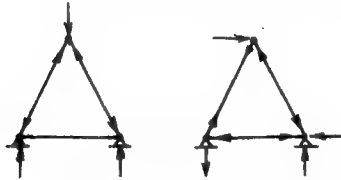
الكمرة مكونة من شفتين ، بينا الجذع عبارة عن شرائح أو مقاطع متقاطعة على هيئة أقطار (شكل ٣-٣) .



شكل (٣-٣) - كمرة شبكية

٣ - الجالونات :

الجالون كمرّة شبكية مكونة من أعضاء تتقابل بعضها مع بعض في نقط على هيئة مفصلات مكونة مثلثات . وتوضع الأحمال على الجالون عند نقط التقابل بحيث أنها تحدث في الأضلاع قوى محورية . والمثلث هو الشكل الهندسي الذي يحتفظ بزواياه تحت تأثير الأحمال التي تؤثر عند إحدى عقدته أيّ كان اتجاه تلك الأحمال (شكل ٣ - ٤) .



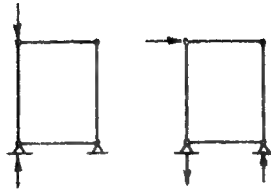
شكل (٣ - ٤) - مثلث مستقر

بينما الشكل الرباعي الذي يلي المثلث في عدد الأضلاع لا يستقر (شكل ٣ - ٥) إلا إذا :

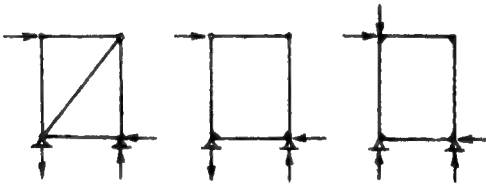
آ - كانت كل عقده - أو على الأقل اثنتان منها - جسيئة . وفي هذه الحالة تتعرض كل أضلاعه أو بعضها لعزوم حثي ، بالإضافة إلى القوى المحورية (شكل ٣ - ٦) .

ب - أضيف له عضو (قطر) فتحول إلى مثلثين ، وبذلك يمكن أن تكون نقط تقابل أعضائه مفاصل ولا تؤثر في أعضائه سوى قوى محورية .

ولما كان الجالون مكوناً من مجموعة من المثلثات فإنه يحتفظ بشكله الهندسي تحت تأثير الأحمال والقوى الخارجية . وعندما تؤثر هذه القوى عند نقط تقابل الأعضاء (العقد) فإن الأعضاء تتعرض لقوى محورية .



شكل (٣ - ٥) - شكل رباعي غير مستقر

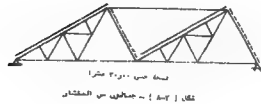
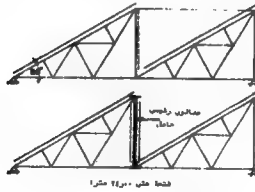
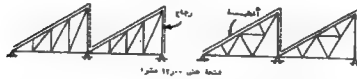


شكل (٣ - ٦) - شكل رباعي مستقر

ونختار الجبال على الكمرات الشبكية في أنها نأخذ أي شكل ليناسب ظروف الطبيعة وظروف الموقع والهيئة المعمارية .

ب - جالونات سن المنشار (Saw-tooth)

وفيها يميل أحد السطحين بزاوية قدرها 30° ويكون السطح الآخر إما رأسياً وإما متعامداً مع السطح الآخر ليصنع زاوية قدرها 60° مع الأفقي . ويكون ذلك السطح متجهاً نحو الشمال للاستفادة من الإضاءة الطبيعية . ويغطي السطح الأول بالواح ، بينما يغطي السطح الآخر بالزجاج .

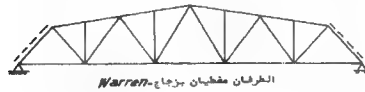
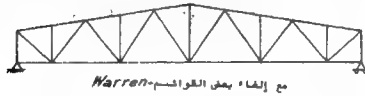
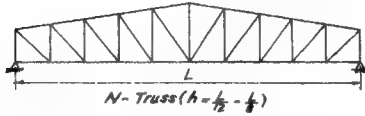


شكل ١٢-١٣ - جالونات سن المنشار

ثانياً - الجملونات ذات السطح المنبسط (Flat Roofs)

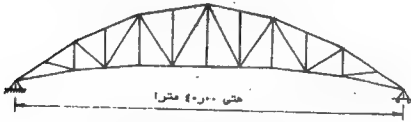
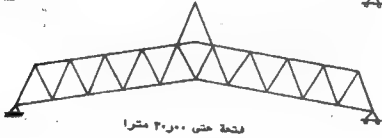
وفيها ميل السطح بين ١ : ١٠ و ١ : ٨ ومنها الأنواع التالية :

١- الوتر السفلي أفقي



شكل (٣ - ٩) - الوتر السفلي أفقي مستقيم

ب - الوتر السفلي منكسر



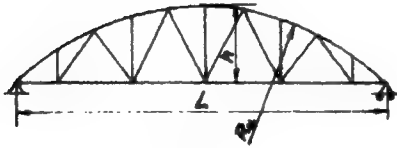
شكل (٢ - ١٠) - الوتر السفلي منكسر

ثالثا - الجبالونات ذات السطح المقوس (Curved Roofs)

١ - الوتر السفلي مستقيم (شكل ٣ - ١١)

ويؤخذ نصف قطر تقوس الوتر العلوي :

$$R_u = \frac{h}{2} + \frac{L^2}{8h}$$

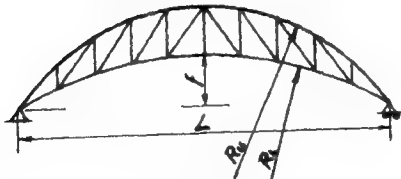


شكل (٣ - ١١)

٢ - الوتر السفلي مقوس (شكل ٣ - ١٢)

ويؤخذ نصف قطر تقوس الوتر السفلي :

$$R_l = \frac{f}{2} + \frac{L^2}{8f}$$

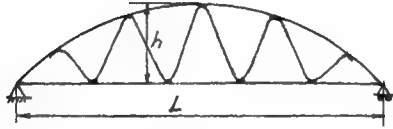


شكل (٣ - ١٢)

٣- العقد ذو الشداد (شكل ٣-١٣)

ولا يلتزم فيه بتحميل المدادات عند العقد وتفضل الفتحة إلى ٨٠ متراً .
ويؤخذ عمق الجها لوزن مساويا :

$$h = \frac{L}{14} \rightarrow \frac{L}{7}$$



شكل (٣-١٣)

رابعا - الكابولات (Cantilevers)

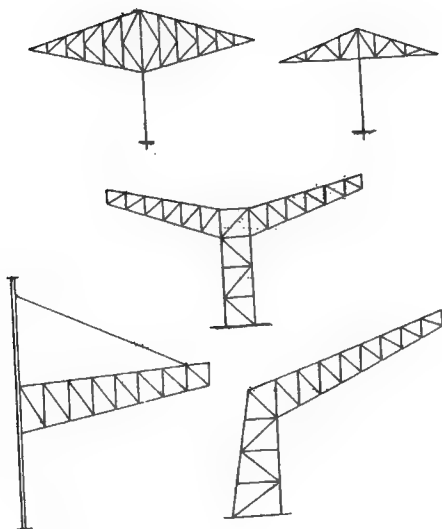
والكابولي ذراع يمتد إما من جهة واحدة من حامله وإما من جهتين،
(شكل ٣- ١٤) .

المنور (الشغشية) (Monitor or Skylight)

وهي فتحة مغطاة في السطح ، (شكل ٣- ١٥) لأحد
غرضين أو لكليهما :

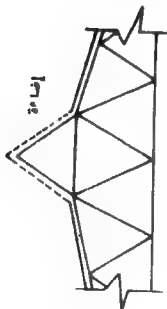
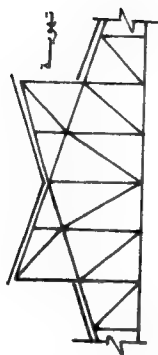
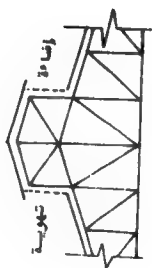
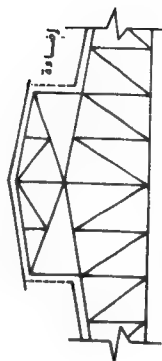
آ - التهوية .

ب - الإضاءة .



شكل (١٤-٣) - الجبال الكابولية

شكل (٣ - ١٥) مناویر الاسطح



اختيار نوع الجمل

لاختيار نوع الجمل أو شكله تدرس النقطة التالية ، بالإضافة إلى اختيار الشكل المعماري ، الذي يكون سابقاً للدراسة الإنشائية ، وبعد تحديد فتحة الجمل وغالباً ما تكون في الاتجاه القصير للمساحة المطلوب تغطيتها :

أ - شكل الوتر العلوي (ميل السطح) .

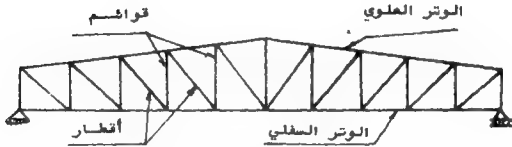
ب - شكل الوتر السفلي .

ج - عمق الجمل .

د - مقياس العقلة على الوتر العلوي .

هـ - ترتيب أعضاء الجذع

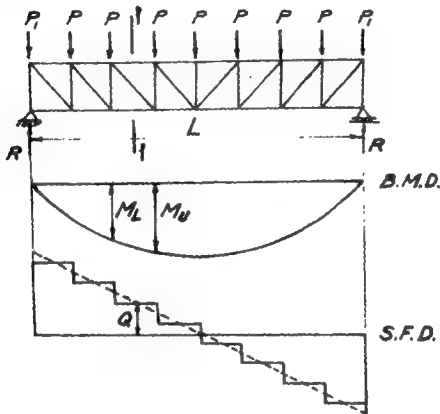
يتكون الجمل بوصفه كمرّة شبكية من وترين (يناظران الشفتين في الكمرّة) ومن أعضاء الجذع (تناظر جذع الكمرّة) . وأعضاء الجذع عبارة عن أقطار أو أقطار وقوائم .



شكل (٣-١٦)

ولعمل من المناسب في هذا المجال أن ندرس التصرف الإنشائي للجمل . فمن تناظر الوترين مع شفتي الكمرّة يمكن القول إن الوترين يقاومان عزم الحني ، ومن تناظر أعضاء الجذع مع جذع الكمرّة يمكن القول بأن أعضاء الجذع تقاوم قوى القص .

وليبيان ذلك ندرس جملأ في أبسط صوره وهو الجمل المتوازي التوترين
(شكل ٣-١٧) .

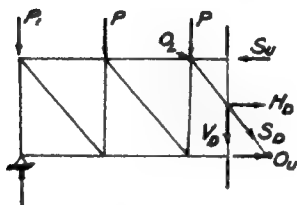


شكل (٣-١٧)

فلحساب القوة في العضو الثالث من التوتر العلوي مثلاً ، نأخذ مقطعاً
أ - أ ليقطع ثلاثة أضلاع ، ثم نفصل الجزء الذي على يساره (أو الذي على
يمينه) وندرس استقراره (شكل ٣-١٨) . وتؤثر على ذلك الجزء المنفصل
قوى (أحمال) خارجية من الواضح أنها ليست متزنة .

وتتزن هذه القوى تحت تأثير قوى داخلية في الأضلاع (ظهرت عند
قطع الأضلاع) ، وهذه القوى محورية . أي أن العضو لا يتحمل قوى في غير
ذلك الاتجاه :

أ - نتزن القوى الرأسية بقوة رأسية لا يمكن أن تكون إلا المركبة الرأسية V_0 للقوة S_0 في القطر .



شكل (٣-١٨) - الجزء المرفص من الجمل

ب - مادامت هناك قوة في القطر فلا بد لها من مركبة أفقية H_0 ، وعندئذ لا بد من اتزانها مع قوة أو قوى أفقية . وهي لا تحمل لها إلا في الوترين المقطوعين .

ج - للحصول على القوة الرأسية V_0 تساوي القوى الرأسية بالصفر $\Sigma V = 0$ وهذه العملية هي في الواقع حساب قوة القص عند مقطع في الكسرة المناظرة . ومن هنا جاء القول إن القوة في عضو الجذع تحسب من قوة القص في منتصف البانوه .

$$\text{وتكون القوة في القطر : } S_0 = + \frac{V_0}{\sin \alpha}$$

د - للحصول على القوة في الوتر العلوي نأخذ العزوم حول O_u ، نقطة تقاطع الضلعين الآخرين وتسمى هذه النقطة قطب الوتر .

هـ - للحصول على القوة في الوتر السفلي نأخذ العزوم حول O_d نقطة تقاطع الضلعين الآخرين .

وهاتان العمليتان هما في الواقع أخذ عزم الحني في الكمرة المناظرة .
ومن هنا جاء القول أن القوة في الوتر تحسب من عزم الحني عند قطب
الوتر .

و- نظراً لوقوع القائم عن نقطة انكسار بياني القص فإن أحسن طريقة
لحساب القوة في قائم هي القول بأنها تساوي مركبة القوة في اتجاه القائم في
القطر الذي يقابل ذلك القائم في عقدة غير عملة . ففي الرسم ، القوة في
القائم الثالث هي المركبة الرأسية للقوة في القطر الثاني .
من الحقائق السابقة يمكن استخلاص ما يلي :

- ١ - القوى في الأوتار تتناسب عكسياً مع عمق الجمل .
 - ٢ - القوى في الأوتار تزداد كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .
 - ٣ - القوى في الأقطار تتناسب عكسياً مع زاوية ميل القطر .
 - ٤ - القوى في الأقطار تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .
 - ٥ - القوى في القوائم تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .
 - ٦ - القوى في الوتر العلوي هي قوى ضغط وفي الوتر السفلي قوى شد .
 - ٧ - القوى في الأقطار التي تميل كما في الشكل هي قوى شد ولو انعكس
اتجاه ميلها لأصبحت القوى قوى ضغط .
 - ٨ - القوى في القوائم هي قوى ضغط ولو انعكس اتجاه ميل الأقطار
لأصبحت القوى في القوائم قوى شد .
- وتطبيقاً على ما تقدم نصل إلى النتائج الآتية :

- ١ - بالنسبة للقوى في الأوتار يحسن أن يزداد عمق الجمل .
- ٢ - بزيادة عمق الجمل يزداد طول أضلاع الجذع ، أي أن المادة المطلوبة

لها تزداد . وفي الوقت نفسه يزداد مقطعها لأن منها ما هو أعضاء
ضغط ؛ فهذه زيادة أخرى في المادة المطلوبة .

إذن فلا بد أن هناك عمقاً اقتصادياً للجمل حيث يكون الوزن أقل ما
يمكن وقد أوضحت الدراسات أن هذا العمق يتراوح بين $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{8}$ من الفتحة
وأن الرقم $\frac{1}{4}$ يعتبر مناسباً . ويلاحظ أنه يمكن تقليل العمق عند الطرفين وبهذا
يُعطي السطح انحداراً من المنتصف نحو الطرفين ، وهو أمر مطلوب عملياً ،
وهو ما عبرنا عنه بميل السطح .

والآن نشرح العوامل التي تؤثر في اختيار الجمل :

أولاً - ميل السطح

يتوقف ميل السطح على عاملين :

١ - مادة التغطية .

ب - شدة الأمطار .

١ - مادة التغطية

١ - بكئي قديماً بتغطية الأسطح بالقرميد الأحمر وقد انتهى استخدامه منذ زمن
طويل وشيبه بذلك التغطية بالواح الأردواز .

٢ - أما التغطية بالخشب فتعتبر غير مناسبة بسبب عدم قدرة الخشب على مقاومة
الأحوال الجوية من بلل وجفاف مما يعرضه للتقوس والتشقق وأخيراً
للحفن .

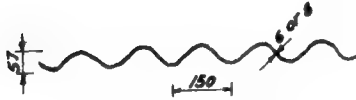
ويمكن تغطية سطح خشبي بمادة عازلة مثل لفائف البتومين . وهي
عابرة عن خيش (نسيج قنب) مكسو بالبتومين ليعطي طبقة سمكها نحو
٣ - ٤ مم .

٣ - تلا ذلك في الاستعمال ألواح الصاج المجلفن الموجهة :

(Galvanized corrugated steel sheets) وهي ألواح من الصلب المطلي بطبقة من الزنك بطريق الغمس الساخن مما يجعله قادراً على مقاومة عوامل الصدأ .

٤ - ثم استخدم من عهد قريب ألواح موجة من الأسبتوس . (الإترنيت)
(Corrugated asbestos sheets)

وهي مصنوعة من عجينة من مونة أسمنتية مخلوطة بها ألياف الأسبتوس . وتعطيها هذه الألياف ميزتين :
١ - زيادة مقدرة الألواح على مقاومة الشد .
ب - تُعطي الألواح بعض العزل الحراري .



شكل (٣-١٩) - مقطع في لوح إيترنيت

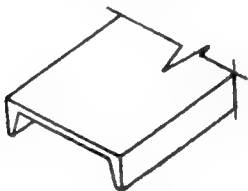
وتكسب المونة إلى سمك ٦ مم (وسمك ٨ مم وهو غير شائع) إلى ألواح موجة عرضها ٧٥ سم وطولها يتراوح بين ٥ أقدام (١٢٥,٥ سم) و ٨ أقدام (٢٤٤ سم) وتتموج الألواح لزيادة عزم القصور الذاتي (عزم المعطالة) لمقاومة الجهود الناشئة عن عزم الحني .

وهذه الألواح أقدر على مقاومة الأحوال الجوية ولكنها سهلة التكسر وتنص مواصفاتها على عدم جواز المشي عليها مباشرة ولكن باستخدام ألواح خشبية سميكة .

٥ - وتستخدم الخرسانة المسلحة لتغطية الأسطح عندما يطلب ذلك بصفة

خاصة وذلك لتقلها وإن كانت بالطبع أقدر على مقاومة العوامل الجوية .
وينصح ألا يقل سمك البلاطة عن ٦ سم .

٦ - ويمكن استخدام ألواح سابقة الصب من الخرسانة الخفيفة قطاعها على شكل مجرى . ويقتضي استعمالها معالجة الفواصل بين الألواح لمنع تسرب مياه الأمطار . ويفضل تغطيتها بالخشيش المقطرن .



شكل (٣-٢٠) - بلاطة مسبقة الصب

٧ - يستخدم الزجاج في تغطية المناور وجوانب الجملونات لأغراض الإضاءة الطبيعية ويكون بسمك ٤ أو ٦ مم حسب مقاس الألواح ويركب في إطارات من الصلب نظراً لكبر مساحتها فيما بين خطوط تحميلها .

٨ - تستخدم بعض البلاد الخشبية الواحاً من الصلب غير القابل للصدأ وقطاعها متعرج وليس موجاً . ويغطي السطح بطبقات عازلة من اللباد المقطرن يدهن بالبتومين (الزفت) .

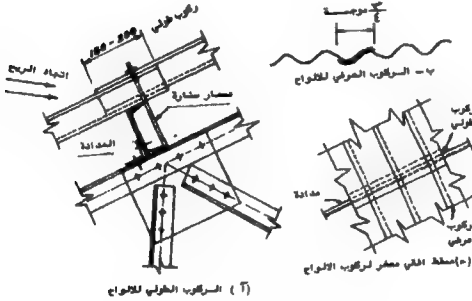


شكل (٣-٢١) - مقطع لوح تغطية من صلب لا يصدأ

ب - شدة الأمطار :

كلما كان سطح مادة التغطية خشناً أو ذا نتوءات كلما زاد ميل ذلك السطح لكي يسمح بالصرف السريع لمياه الأمطار .

ولترسم الآن وصلة للألواح المترنيت على سطح جمل



شكل (٢ - ٢٢) - تركيب الألواح المنحنية

فالملاحظ أن ركوب الألواح بعضها على بعض ولا سيما الركوب الطولي غير محكم . فكلما كان المطر غزيراً وكلما كانت الرياح شديدة وخصوصاً في اتجاه فتحات الوصلات كلما زدنا ميل السطح خوفاً من تسرب مياه الأمطار عكس اتجاه الميل . ففي المناطق الجافة قد يكفي أن يكون الميل $1 + 20$ وفي

المناطق المغطاة لا يقل الميل عن $1 + 10$ وفي المناطق الغزيرة الأمطار يزداد الميل إلى $1 + 8$ وقد يصل إلى $1 + 5$.

وقد زيد الميل في المناطق المعرضة لتساقط الجليد حتى وصل إلى $1 + 2$ ولكن المباني المزودة بوسائل التدفئة وبأسطح مغطاة بالطبقات العازلة أصبحت ميول أسطحها بسيطة ($1 + 20$) .

ثانياً - شكل الوتر السفلي :

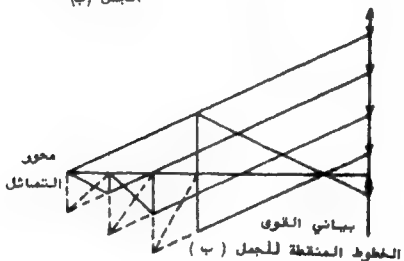
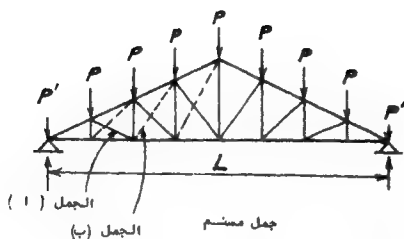
قد يكون الوتر السفلي أفقياً وقد يأخذ أي انحناء أو استدارة يراها المماري . وتنفيذ ذلك في الجمالونات أمر متيسر حيث يمكن تكسيه رخط الوتر السفلي عند العقد .

ثالثاً - عمق الجمل :

سبق أن أوضحنا أن عمق الجمل المتوازي الوترين يتراوح بين $\frac{1}{12}$ و $\frac{1}{8}$ من الفتحة وأن رقماً معتاداً هو $\frac{1}{10}$ الفتحة . ويسري هذا أيضاً على الجمال ذات السطح المنبسط . إما الجمال ذات السطح المنحدر فإن عمقها في الوسط يكون عادة كبيراً ، إذ يتوقف على الميل المختار للسطح والذي لا يقل عن $1 : 2$ ، وكذلك الجمال ذات السطح المنحدر ، إلا أن القوى في الأعضاء تختلف في هذه الجمال عنها في الجمال ذات السطح المنبسط ، كما يتضح من الدراسة التالية .

١ - برسم مخطط القوى للجمل يتضح ما يلي :

* يحمى الوتر السفلي تقوساً إلى أعلى ليمكس ما يحدث للجمل من سهم انحناء عندما يكون الوتر السفلي أفقياً .



شكل (٣-٢٣) - تفسير بياني القوى بتفسير اتجاه الأقطار

أ - القوى في الأوتار العليا والسفلى تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل ، ويلاحظ أن هذا راجع إلى ازدياد العمق من الركيزة نحو المنتصف .

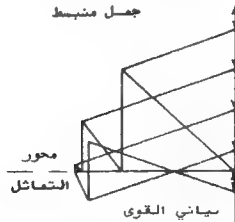
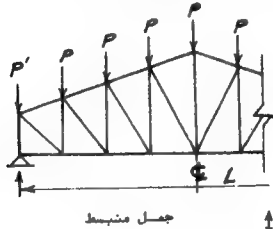
ب - القوى في الأقطار وكذلك في القوائم تتزايد كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .

ج - الأقطار التي اتجهتها كما في الجمل ١ (شكل ٣ - ٢٣) هي أضلاع ضغط بينما القوائم أضلاع شد .

٢ - إذا عكسنا اتجاه الأقطار كما في الجمل ب نلاحظ ما يلي :

- أ - القوى في الأوتار العليا أكبر منها أولاً (ما عدا الوتر الأول)
- ب - القوى في الأوتار السفلي أصغر منها أولاً (ما عدا الوتر الأول)
- ج - القوى في الأقطار تنعكس إلى شد . ولكن قيمتها أكبر منها أولاً .
- د - القوى في القوائم تنعكس إلى ضغط ولكن قيمتها أكبر منها أولاً (فيما عدا القائم الأوسط فالقوة به صفر) .

٣ - ويلاحظ أنه لو أعطى الجمل ارتفاعاً عند الركزتين كما في شكل ٣ - ٢٤ لتغيرت قيم القوى تغيراً جذرياً وأصبحت :

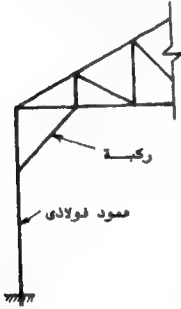


شكل (٣ - ٢٤)

أ - القوى في الأوتار - ولاسيما قرب الركيزتين - أصغر بدرجة كبيرة .

ب - القوى في الأقطار تتغير فتصبح أحياناً شداً والبعض الآخر ضغطاً ويحدث عكس ذلك في القوائم .

وبما استنتج من مقارنة مضلعي القوى للجملين (أ) و (ح) يمكن القول بأنه يستحب زيادة العمق عند طرفي الجمل . وفي الواقع أن الشكل (أ) لا يستعمل إلا إذا كان الجمل مرتكزاً على حائطين من المباني أو على عمودين من البيتون المسلح . وسنرى فيما بعد أن (نقطة) الركيزة لا وجود لها في الطبيعة .



أما إذا كان الجمل محملاً على عمودين من الفولاذ فإنه يصبح من المستحب زيادة العمق عند العمودين ، ويتم ذلك بإضافة (ركبة) عند كل عمود ، الغرض منها في الحقيقة تخفيف الجهود على العمود كما سيأتي الحديث عنه في حينه .

شكل (٣-٢٥) - سند العمود بركبة

رابعاً - مقياس البانوه (طول العقلة على الوتر) (Panel length)

المتاد في المباني الصناعية أن يكون الوتر العلوي هو الوتر المحمل حيث يركب عليه غطاء السطح . أما في المباني ذات الصبغة المعمارية فيطلب تغطية أسفل الجمال مكوناً سقف المبنى .

ويتأثر ترتيب الكمرات - ثانوية ورئيسية - في الأسقف بنوع مادة

التغطية وطبيعتها أي على قدرتها على التحمل ، ومقدار الفتحة التي يمكن أن تحتازها ، مع الأخذ في الاعتبار كثافة مادة التغطية ونوع الحمل الحي الواقع عليها وطبيعته .

فمثلاً قد يمكن استخدام الجبال على هيئة كمرات وحيدة ويفتقر سطحها بلاطة من الخرسانة المسلحة لكن هذا يلقي الاعتراضات الآتية :

أ - أنه من غير المرغوب فيه تحميل أوتار الجبال تحميلاً مباشراً .

ب - أنه لكي يكون سمك البلاطة الخرسانية معقولاً حتى يكون وزن الجمل المثلث قليلاً يجب أن يكون بحر البلاطة صغيراً : مترين أو نحو ذلك أي أن عدد الجبال سيكون كبيراً . وبذلك يكون المشروع مكلفاً .

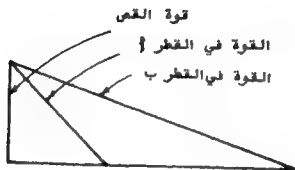
لذلك نلجأ إلى استخدام كمرات ثانوية تحمل غطاء السطح وترتكز على الجبال عند العقد . هذه الكمرات تسمى المدادات (Purlins) . ونحدد المسافة بين المدادات - أي المسافة بين العقد - حسب نوع مادة التغطية وطبيعتها وهذه المسافة لا تزيد عادة على مترين . هذا إذا أريد طبعاً ألا يكون تحميل مباشر على الوتر .

مخامساً - ترتيب أعضاء الجذع :

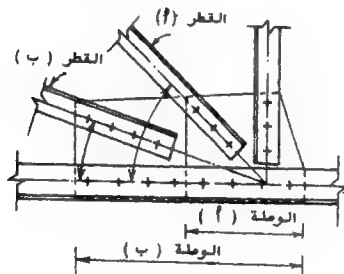
يدخل في تحديد مقاس البانوه مقدار الزاوية التي تصنعها الأقطار مع الأوتار ويفضل أن تتراوح زاوية الميل بين ٤٠° و ٥٥° ، فكلما صغرت زاوية الميل كلما زادت مساحة الوصلة عند العقدة لسببين :

أ - أن القوة في القطر تكون أكبر :

ب - أن ربط القطر يكون أطول :

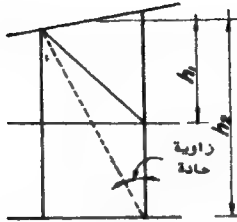


شكل (٣-٢٦) - تزداد القوة في القطر عندما يقل ميله



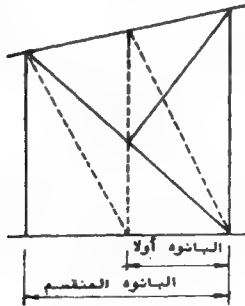
شكل (٣-٢٦) - وصلة القطر أطول عندما يقل ميله

وما يسري على الزاوية الصغيرة مع الوتر يسري على الزاوية الكبيرة ،
حيث ستكون الزاوية مع القائم صغيرة وبذلك تكبر الوصلة في الاتجاه
الرأسي . ويتحكم في هذه الزاوية أيضاً عمق الجمل فكلما زاد العمق كبرت
الزاوية مع الوتر ونقصت مع القائم :

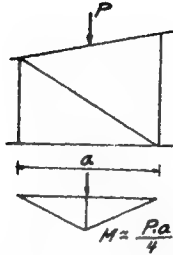


شكل (٣-٢٦) - ح: حازدياد زاوية القطر بازدياد العمق

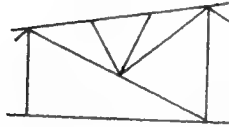
وتعالج هذه الصورة بتكبير البانوه ثم تقسم العقلة نفسها متوسطاً ، وهذا ما يسمى بالبانوهات المنقسمة (*Subdivided panels*) : والواضح من هنا هو تحميل المادة عند عقلة كما في شكل (٣-٢٦) حيث تحدث قوى عمودية في الأعضاء و يمتنع عزم الحني الحادث في الوتر كما في شكل (٣-٢٦) . (هـ)



شكل (٣-٢٦) د - بانوه معاد تقسيمه

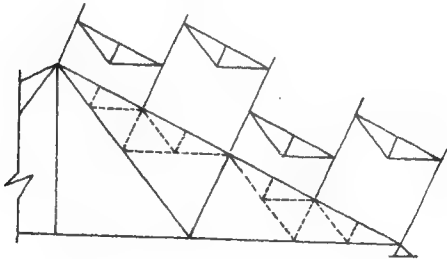


شكل (٣-٢٦) - عجلة عملة معرضة لعزم حتى

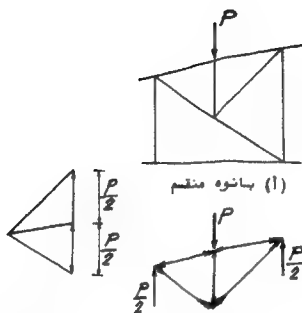


وقد تقسم العقلة ٣
أقسام إذا ما طالت ، كما
في شكل (٣-٢٦) و ٤
أقسام كما في شكل (٣-
٢٦ ز) .

شكل (٣-٢٦) - عجلة منقسمة ثلاثة

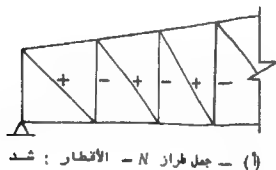


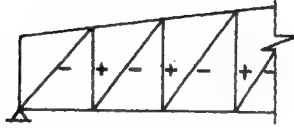
شكل (٣-٢٦) بانوه منقسم أربعة



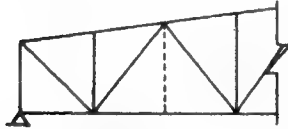
شكل (٣ - ٢٦) - القوى الإضافية الناشئة من تقسيم البانوه

وقد سبقت الإشارة إلى اتجاه ميل الأقطار وأنه من المفصل أن يكون الاتجاه بحيث تكون القوى فيها قوى شد وفي القوائم قوى ضغط ، نظراً لأن الأقطار أطول من القوائم كما في شكل (٣ - ٢٧) الذي يمثل جمل طراز (N).





(ب) جمل طراز - الأقطار : ضغط



(ا) جمل طراز W - الأقطار متناوبة

شكل (٣-٢٧)

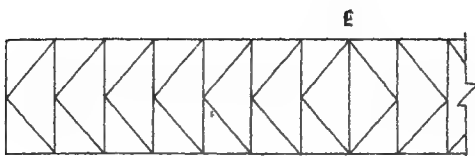
ولا تستحب ولا تستعمل الأقطار كما في شكل (٣-٢٧ ب) .

أما شكل (٣-٢٧ ا) الذي يمثل جمل طراز *Warren Truss (W)* فهو شائع الاستعمال . وتعوض الزيادة في مادة الأقطار التي تحت ضغط بالولر في عدد القوائم وفي قطاعاتها .

الأقطار المزدوجة *Multiple web systems*

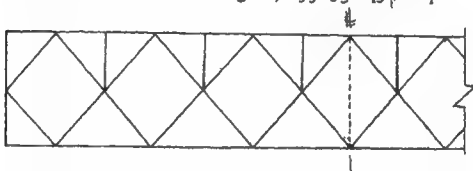
وهذه محاولة أخرى لتقليل طول البانوه عندما يزداد عمق الجمل ، كما في الحالات الآتية ، وهي غالباً ما تكون للجمال ذات الوترين المتوازيين :

٢- جمل طراز (K) - وهو مزود بقوائم عند كل العقد ، (شكل ٣-٢٨) .



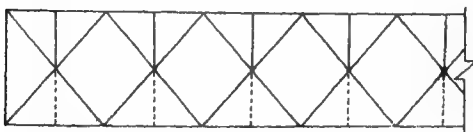
شكل (٢٧٨-٣) - جمل طراز K

ب- جمل طراز المقص - وهو جمل ناقص استاتيكيًا ويحتاج إلى عضو إضافي -
إما قائم وإما مواز للوتر ، (شكل ٢٨-٣ ب) .



شكل (٢٨-٣) - جمل طراز المقص - ناقص دون القاسم المنقطع

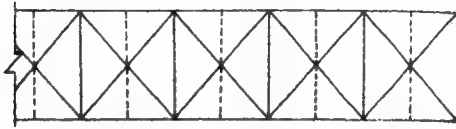
ج- جمل طراز المقص غير محدد استاتيكيًا مرة واحدة ، (شكل ٢٨-٣ ج) .



شكل (٢٨-٣) - جمل طراز المقص - غير محدد مرة واحدة

د - جل ذو أقطار متقاطعة ومزود بقوائم . وهو غير محدد استاتيكيًا عدة مرات ، يعدد القوائم كلها ناقصاً واحداً . (شكل ٣ - ٢٨ د) .

وأغلب استخدامات هذه الأنواع الأربعة من الجبال هو في أربعة الريح في المنشآت ، سواء أكانت في المستوى الأفقي أم في المستويات الرأسية .

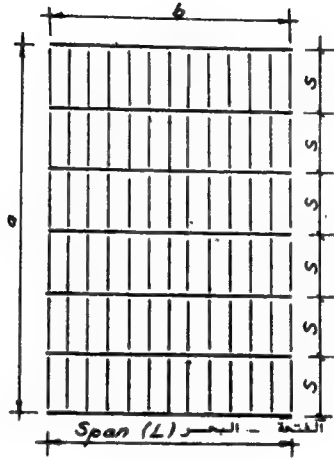


شكل (٣ - ٢٨ د) - جبل طراز الأقطار المتقاطعة - غير محدد

تقسيم جبالونات الأسقف : (Spacing of rooftrusses: s)

لتغطية قطعة أرض مفاها $a \times b$ توضع الجبال - في أغلب الأحيان - في الاتجاه القصير وبذلك يكون بحر الجبل (فتحته) $L = b$. ويقسم الاتجاه الطويل أقساماً متساوية عددها (n) مفا القس (s) وبذلك يكون $a = n.s$ ويكون عدد الجبال $(n + 1)$ كما في شكل (٣ - ٢٩)

وتتخذ المداات في الاتجاه الطولي وعددها يساوي عدد العقد في الجبل . ينتقل وزن غطاء السقف وما عليه من حمل حي إلى المداات التي تصمم على اعتبارها كمراات ذات تحميل بسيط - في الغالب - ثم ينتقل ذلك الحمل ، مضافاً إليه وزن المداات ، إلى الجبال . ومعنى هذا أن كل جبل يحمل من السطح مسافة مقدارها (s) ، التي هي في الرق نفسه مجاز المداة . والواضح أنه عند ثبات شدة الحمل على السطح فإن عزم الحني للمداة يزداد بزيادة مجازها (نسبة تربيعية) وبالتالي يكبر القطع اللازم للمداة . ويوضح الرسم العدد



شكل (٣-٢٩) .

الكبير من المدادات التي يشتمل عليها السطح مما يجعل لأي زيادة في وزن المادة تأثير كبير على وزن المنشأ المعدني .

إلا أنه في الوقت نفسه الذي زاد فيه طول المادة ، قلّ عدد الجبال المطلوبة ، ولكن سبب ذلك زيادة قيمة الأحمال الواقعة على الجبل الواحد ، وهذا يتطلب قطاعات أكبر لأعضاء الجبل ، أي أنه سيكون أثقل ، ولكن هذا لا يعني أن الزيادة في الوزن تتناسب مع ازدياد المسافة بين الجبال .

وملخص هذا ، أنه بازدياد المسافة بين الجبال :

آ - يزداد وزن المدادات .

ب - يقل عدد الجبال المطلوبة .

ج - يزداد وزن الجمل ولكن يقل الوزن الكلي للجبال .

د - هذا بالإضافة إلى أن حاملات الجبال سواء أكانت أعمدة من الخرسانة المسلحة أم من الفولاذ ، يقلل عددها ، ويقل بالتالي عدد القواعد (الأساسات) ، وإن كانت الأحمال تزداد عليها .

وعلى ذلك فإن موضوع تقسيط الجبال يحتاج إلى دراسة مقارنة يدخل في حسابها العوامل المشار إليها لتحديد المسافة بين الجبال التي تعطي الحل الاقتصادي ، آخذين في الاعتبار أن عملية الإنشاء تشمل ما يلي :

أ - المواد المستعملة .

ب - تشغيل أي تجهيز المواد المستعملة لتكوين أجزاء المنشأ المختلفة .

ج - تركيب الأجزاء .

فالجبالونات مكونة من قطاعات مختلفة تقطع وتثقب وتجمع جزئياً في الورشة والباقي في الموقع ، أما المدادات فغالباً ما تكون من قطاعات جاهزة .

وتزيد تكلفة الأجزاء المجهزة على تكلفة الأجزاء الجاهزة بقيمة الزيادة في تكاليف التشغيل . وفي المتوسط يمكن أن يقال إن تكاليف المادة تساوي تكاليف تشغيلها وتركيبها .

ويراعي المفاضل (المتعهد) هذه الفروق عند وضع أسعاره ، وعلى ذلك فإن دراسة المهندس للمشروع من جهة الاقتصاد في تكلفته يجب أن تشمل نوعية الأجزاء المكونة للمنشأ .

وقد أجريت دراسات أمكن منها استخلاص العلاقة التقريبية التالية بين فتحة الجمل وتقسيمه :

Span L (meters)	Spacing (s)
< 16.00	4.50 m
16.00 — 30.00	$(1/4 - 1/5) L$
> 30.00	تستدعي الدراسة

الاحمال على جمال الأسطح

الاحمال على جمال الأسطح إما رأسية وإما أفقية :

فالرأسية تشمل الاحمال الميتة والاحمال الحية والاحمال المتحركة وتأثيرها الديناميكي . والأفقية تشمل ضغط الريح والقوي الأفقية للاحمال المتحركة . كما أن هناك التأثيرات الحرارية .

أولاً - الاحمال الميتة (Dead loads)

أول ما يحمل أي جزء من منشأ وزنه الذاتي . ويحمل الجمل ، بالإضافة إلى وزنه الذاتي ، وزن الأجزاء المعدنية الأخرى كالمدادات والأربطة (شكالات الريح) ، ثم يحمل الجمل أغطية السطح عند الوتر العلوي ، كما يحمل عند الوتر السفلي أغطية السقف حيث توجد ، كما يحمل ما قد يوضع بين السطح والسقف من أنابيب ومجار للتدفئة أو لتكييف الهواء أو لتفتيح جو المكان من غازات أو أتربة وكذلك مواسير نقل السوائل أو الغازات أو منتجات الصناعة . وكل ذلك يكون مرتباً ومجهزاً ومعروفة أماكنه وأوزانه قبل إجراء الحسابات الإنشائية :

١ - غطاء السطح (Roof Covering)

يُعطي وزن أغطية السطح بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة الفعلية للسطح .

وفي غياب بيانات محددة يمكن استخدام القيم التالية :

الواح الصاج المجلفن	٢٥ - ٣٠ كج / م ^٢	شاملة الركوب
الواح الاسبستس الموجهة	١٧ - ٢٥ كج / م ^٢	ومسامير الربط
زجاج سمك ٤ مم	٢٥ كج / م ^٢	شاملة الإطارات
زجاج سمك ٦ مم مسلح	٤٠ كج / م ^٢	الخاصة بالزجاج
خرسانة مسلحة سمك ١٥٠ مم	١٥٠ كج / م ^٢	
خرسانة خفيفة (بلاطات)	٤٠ كج / م ^٢	شاملة الكسوة بالبيتومين
بلاطات القرميد	٧٥ كج / م ^٢	شاملة كمرات التحميل
الواح الأردواز	٧٠ كج / م ^٢	الإضافية

٢ - السقف :

ويكون في مستوى الوتر السفلي ويطلق عليه معمارياً السقف المستعار (*False Ceiling*) وهو بالإضافة إلى أن الغرض منه هو الزخرفة إلا أنه يكون دائماً سقفاً صوتياً (*Accoustic*) إذ تكون المواد المصنوع منها ماصة للصوت فلا يحدث له رنين . وأساس تكوينه الجبس يضاف إليه مواد تجعله خفيف الوزن وتعمل به ثقب كثيرة نافذة .

وفي غياب بيانات محددة يمكن أن يؤخذ وزنه ٢٥ كج / م^٢ من مساحته الفعلية .

٣ - الأنابيب والمواسير والمجاري التي توضع فيما بين الوترين السفلي والعلوي فتؤخذ بيانات أوضاعها وأوزانها من التصميم الميكانيكي .

٤ - وزن الأجزاء المعدنية (*Weight of steel structure*)

يشمل هذا الوزن الوزن الذاتي للجمال المعدنية مضافاً إليه ما تحمله

من مدادات ، كما يشمل أربطة الريح وكذلك وصلاتها وتوصيلاتها .

وإذا افترضنا أنه يمكن ، بسرعة ، حساب قطاع المادة وأربطة الريح ،
إلا أنه يبقى حساب الوزن الذاتي للجمل . ولا يمكن معرفة الوزن الذاتي
مسبقاً ولكن يمكن تقديره بطريقة تقريبية وذلك من واقع دراسات سابقة لجبال
مماثلة أو من واقع منشآت قائمة إذ يتوقف الوزن الذاتي للجمل ، كما يتوقف
الوزن الذاتي للمدادة ، وكما يتوقف الوزن الذاتي لأي كمر ، على ما يلي :

أ - فتحة للمدادة (أو بحرمة) .

ب - الحمل الواقع على الجمل ويتوقف على :

- وزن أغطية السطح (التي يؤثر فيها أيضاً درجة ميل السقف) .

- الاحمال الحية التي يتعرض لها السطح والسقف .

- تقسيط الجبال .

ج - الجهد المسموح به لمادة الجمل .

وقد وضعت معادلات عملية شمل بعضها بعض العوامل المشار إليها
وشمل قليل منها كل العوامل . كما أعطى بعضها وزن الجمل منفرداً
وأعطى بعضها الآخر وزن السقف الممدني كله . ونورد هنا بعض هذه
المعادلات :

١ - معادلة سالون « Salmon »

وتحمل هذه المعادلة جهد الصلب المستخدم ، ربما على اعتبار أن صلب
الجبالونات صنف واحد هو صلب ٣٧ أو ما يعادله في البلاد الأخرى ، كما
لا تذكر المعادلة قيمة الحمل الحية ، ربما على اعتبار أن الحمل الحية عنده
ثابت وهو وزن الجليد الذي يغطي السطح في الشتاء . والمعادلة هي :

$$w = \frac{K}{s} \left(9 + \frac{L^2}{150} \right)$$

وفيها w = وزن السقف المعدني بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة التي يغطيها الجمل (Covered area) و $L \times s =$

s : تقسيط الجمل بالمتر .

L : بحر الجمل بالمتر .

K : معامل يتوقف على مادة التغطية ويساوي :

١٠ ، للألواح الأسبستوس الموجهة .

١١ ، لإطارات الزجاج ولبلاطات الخرسانة الخفيفة .

١٥ ، للخرسانة المسلحة .

٢ - معادلة شتوسي (Stussi)

$$w = (w_0 + p) \frac{L}{L_{max} - L}$$

وفيها

w = وزن الجمل فقط بالكيلوجرام على المتر المربع . من المساحة المغطاة

w_0 = وزن مادة التغطية (كج / م^٢)

p = الحمل الحي (كج / م^٢)

l = بحر الجمل بالمتر

$L_{max} = 450$ لصلب ٣٧

ولا تشمل هذه المعادلة تقسيط الجمل .

٣ - معادلة ثاير (Thayer)

وهي شاملة لجميع المتغيرات ولكنها لوحدها الرطل والبوصة .

وهي كالآتي :

$$W = \sqrt{\frac{w/a}{f_a} (4L^2 + L)}$$

وفيها

W = الوزن الكلي للجمل بالأرطال .

w = الحمل الكلي على السطح بالرطل على القدم المربع .

F_a = الجهد المسموح به بالرطل على البوصة المربعة .

a = تقسيط الجمل بالقدم .

L = بحر الجمل بالقدم .

وبتحويل الوحدات في هذه المعادلة إلى وحدات الكيلوجرام والستيمتر وتغيير حدها الأيسر ليمثل الوزن على وحدة المساحة نحصل على المعادلة :

$$w = 0.323 \sqrt{\frac{p}{f_{a1}}} (13.1 L + 60)$$

وفيها :

w = وزن الجمل بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة .

p = الحمل الكلي على الجمل (غطاء السطح + غطاء السقف إن

وجد + الحمل الحي) بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة الأفقية .

s = تقسيط الجمل بالمتر .

f_{a1} = الجهد المسموح به بالكيلوجرام على الستيمتر المربع .

L = بحر الجمل بالمتر .

وقد حولت هذه المعادلة لتشمل وزن السقف المعدني كله . وباعتبار

صلب ٣٧ ، فأصبحت باستخدام الرموز نفسها كالآتي :

$$w = 0.2 \sqrt{\frac{P}{s}}$$

وفيها : w = وزن السقف الفولاذي بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة . وللمعتقد أن هذه المبادلة تعطي قماً مناسبة للوزن الذاتي للسقف المعدني بعد أن وضعت في الهيئة التي يفضل أن تستعمل بها وهي احتساب الوزن الكلي للسقف بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة .

وعمل العموم فللملاحظ أنه بالنسبة للجهود في أعضاء الجبال ، أن نصيب الوزن الذاتي منها يتراوح بين ١٥ و ٢٠ ٪ من الجهود الكلية في أعضاء الجمل . فإذا كان اختلاف الوزن المفروض عن الوزن الواقعي بعد التصميم بين ٢٠ و ٣٠ ٪ فإن الفرق في الجهد يتراوح بين ٣ و ٥ ٪ فقط ، مما يمكن التغاضي عنه . إلا أنه عندما يكون بحر الجمل كبيراً (أكبر من ٣٠ متراً مثلاً) أو تكون الأحمال غير عادية كأن تكون الأحمال مركزة (كأوزان الرفافات المعلقة) ففي هذه الحالة يلزم مراجعة الوزن الذاتي - بعد إجراء التصميمات - مع الوزن السابق فرضه وتعداد الحسابات فيها لو كانت الفروق كبيرة . ويحتاج المصمم إلى التصرف فيها إذا كان للجمل كابول من طرف واحد أو من كلا الطرفين أو كان الجمل نفسه كابولا أو كابولا مزدوجاً .

ثانياً - الأحمال الحية (Live loads)

تشمل الأحمال الحية ما يلي :

١ - حمل حي يمكن أن يوزع بانتظام على كامل المسطح الذي يشغله الجمل كما يمكن أن يوضع في المساحات التي تسبب أقصى جهود في مختلف أعضاء الجمل ، كأن تحمل نصف الفتحة أو ربعها لانهيار أقصى قوى في أعضاء الجذع أو يحمل كابول دون الفتحة ، لحساب تأثيره على الوترين وعلى رد الفعل البعيد .

ب - أحمال تعلق من الجمل مثل أوزان المرفاعات (Monorails) . وهذه قد تحدد أماكنها بالضبط أو يُطلب أن يصمم الوتر السفلي على حمل وحيد القضيب قد يأخذ أي وضع ، وفي هذه الحالة يفترض للمرفاع حمل موزع بانتظام . وكما يحدد صانع المرفاع قيمة الحمل على عجلاته ومقدار تباعدها ، كذلك يحدد قيمة الحمل الذي يطلب توزيعه على الوتر السفلي للجمل .

ويطلق أحياناً على الجمل الموزع على السطح حمل الطوارئ (Emergency load) حيث أن الأسقف المدنية قد يعرضها أصحابها لأحمال غير متوقعة سواء أكان ذلك أثناء أعمال تركيب أجهزة العمل أو فيما بعد ، أثناء استخدام المنشأ . وفي البلاد التي يتساقط فيها الجليد يستعاض عن الحمل الحي بوزن ما قد يتراكم على السطح من جليد . وتحدد كل بلد قيمة ذلك الحمل . أما المواصفات المصرية فلأنها تعطي قياً للحمل الحي الموزع بانتظام تنغير تبعاً لأمرين :

أ - كون السطح يمكن الوصول إليه أم لا .

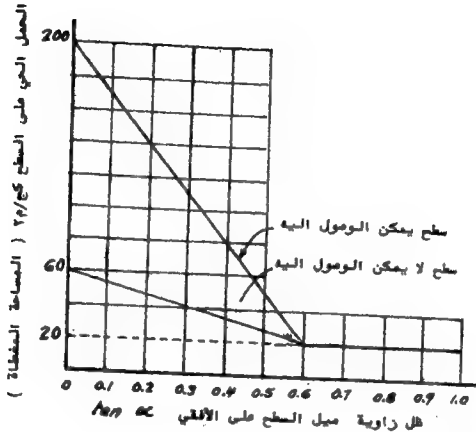
ب - درجة ميل السطح على الأفقي .

وبين الرسم البياني التالي العلاقات المشار إليها وهي :

الحمل الحي على السطح الأفقي الذي يمكن الوصول إليه : ٢٠٠ كج / م^٢ . وعلى الذي لا يمكن الوصول إليه : ٦٠ كج / م^٢ .

وتقل قيمة الحمل الحي تبعاً لميل السطح كما في الرسم ولكنها لا تقل بأي حال عن ٢٠ كيلوجرام على المتر المربع من المساحة الأفقية .

كما تنص المواصفات على أن يراجع تصميم المادة على حمل مركز قدره ١٠٠ كيلوجراماً ، يمثل عاملاً مع ما يحتمل من أدوات .



شكل (٣-٣٠) - الحمل الحي على الأسطح المائلة

ثالثاً - ضغط الريح (Wind pressure) :

يؤثر الريح على المنشآت كافةً ولاسيما التي لا تحميها منشآت مجاورة وقد يكون أثره هيناً في المنشآت القليلة الارتفاع ولكنه ملموس في المباني العالية كما أن تأثير الريح قد يكون العامل الأساسي في تصميم بعض المنشآت كالصواري والأبراج المعدنية .

ويمكن تشبيه تأثير تيار هوائي بتأثير تيار مائي يعترض سبيل صخرة مثلاً ، مع الفارق في أن تيار الهواء غير محدود الحجم سواء في العرض أم في العلو . وقد أمكن استخدام معادلة ديناميكا الموائع في دراسة تأثير الريح على المنشآت والمعادلة هي :

$$q = \frac{\omega}{2g} V^2$$

ولها :

q : الضغط بالكيلوجرام على المتر المربع .

ω : وزن المتر المكعب من الهواء ويؤخذ ١,٢٩٣ كج / م^٣ .

V : السرعة بالمتر في الثانية (تساوي $\frac{1}{3,6}$ كيلومتر في الساعة) .

g : عجلة الجاذبية = ٩,٨١ متر/ثانية / ثانية .

$$q = 0.066 V^2$$

وبالتعويض

وقد أظهرت تجارب ديناميكا الهواء أن ضغط الريح يتوقف على مقاس المساحة المعرضة له وشكلها ، وأن قيمة الضغط قد تصل إلى ثلاثة أضعاف القيمة المحسوبة من المعادلة النظرية واقتراح « جراسوف » أن تزداد قيمة الضغط ١,٨٦ مرة وبذلك يصبح الضغط : $q = 0.122 V^2$ فإذا كانت سرعة الريح ٦٥ كيلومتراً في الساعة (١٨ متراً في الثانية) فإن ضغط الريح يصل إلى ٤٠ كيلوجرام على المتر المربع وهو ضغط لا يستطيع الإنسان أن يقاومه بسهولة .

وقد أوضحت التجارب أيضاً أن للريح تأثيراً على الأسطح المواجهة له ، كما أن لها تأثيراً على الأسطح المقابلة (يطلق عليها الأسطح تحت الريح) بل أن له أيضاً تأثيراً على الأسطح العمودية على السطح المواجه . ويحدد ضغط الريح على أسطح المنشآت من واقع المعادلة :

$$P_w = c.q$$

وفيها :

P_w = ضغط الريح عمودياً على السطح .

q = ضغط الريح على السطح الرأسى كما تحدده المواصفات وهو يتوقف على ارتفاع المبنى .

c = معامل يتوقف على طبيعة السطح المعرض للريح . وهو للسطح المواجه للريح :

$$c = 1.2 \sin \alpha - 0.4$$

أما الأبراج - وهي التي يجاوز ارتفاعها خمسة أمثال أنصر ضلع فيها - فإن المعامل :

$$c = 1.6 \sin \alpha - 0.4$$

حيث α هي زاوية ميل السطح على الأفقى .

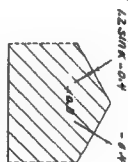
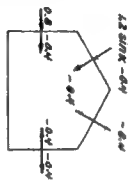
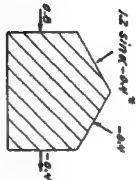
وعندما تكون قيمة المعامل موجبة فإنها تعني ضغطاً وعندما تكون سالبة فإنها تعني مصاً (Suction) أو سحباً .

أما الأسطح المقابلة وكذلك الأسطح العمودية على السطح المواجه فإن المعامل لا يتأثر بميل السطح ، وقيمته :

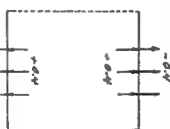
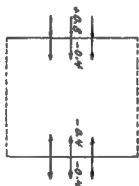
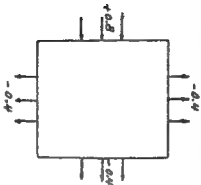
$$c = - 0.4$$

وبذلك يكون تأثير الريح على تلك الأسطح دائماً سحباً أو مصاً .

وقد أوردت المواصفات الحالات المختلفة لبيان تأثير الريح على المنشآت المختلفة كما يوضحها شكل (٣ - ٣١) .



المعاملات : $1.2 \sin K - 0.4$



المعاملات : 0.8

المعاملات : 0.8

المعاملات : 0.8

شكل (٣١-١) - المعاملات لنقطه الريح على المستلحات الهندسية

وتختلف قيمة (c) للمنشآت غير العادية ، كما يتضح من الجدول التالي :

جدول (٣ - ١)

المنشأ أو جزؤه	$2r\sqrt{q}$	c
الأسلاك والكابلات	$1.5 >$	1.20
	$1.5 <$	0.70
الكابلات الكهربائية	$1.5 >$	1.20
	$1.5 <$	1.00
مستودعات السوائل والغازات : - تامة الاستدارة . - غير منتظمة الاستدارة . - مضلعة		0.50
		0.80
		1.20
القباب	$1.0 >$.60
	$1.0 <$.35

حيث

r = نصف القطر بالمتر .

q = ضغط الريح الأفقي كج / م^٢ .

ولما كانت سرعة الرياح تزداد بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض فإنه بالتالي يزداد ضغط الريح بازدياد الارتفاع . وقد حددت المواصفات المصرية قيمة q وهو الضغط بالكيلوجرام على السطح الراسي المواجه للريح كالآتي :

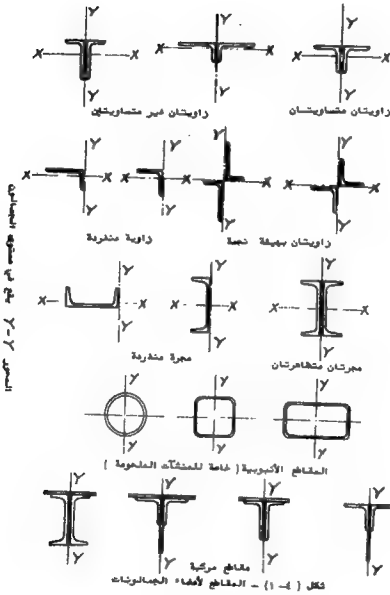
$q = ٥٠$ كج / م^٢ حتى ارتفاع ٨ امتار عن سطح الأرض .

$q = ٧٥$ كج / م^٢ على الارتفاعات من ٨ امتار إلى ٢٠ متراً

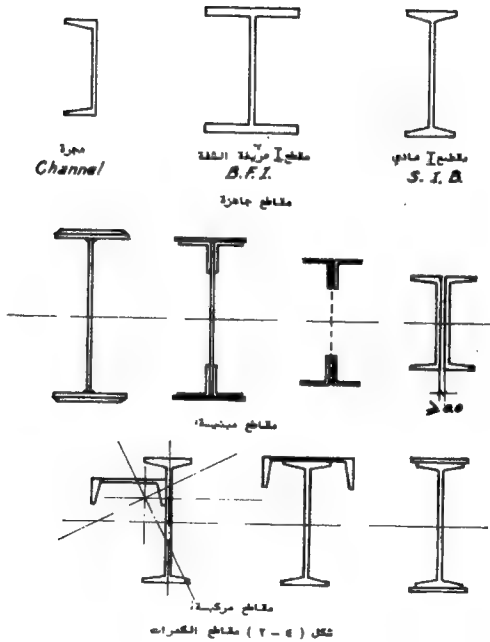
$q = 100 \text{ كج / م}^2$ على الارتفاعات التي تزيد على ٢٠ متراً .
 ولكن لا تتجاوز ١٠٠ متر .
 $q = 120 \text{ كج / م}^2$ على الارتفاعات التي تزيد على ١٠٠ متر .

الفصل الرابع تصميم الأعضاء الفولاذية

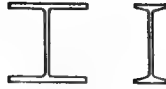
أولاً - أعضاء الجملونات :



ثانياً - مقاطع الكمرات :



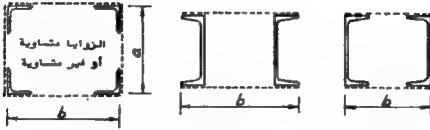
بالأ - مقاطع الأعمدة :



مقاطع مدلفنة



مقاطع مركبة



مقاطع مبنية

شكل (٤ - ٣) مقاطع الأعمدة

توزيع الجهود في المقاطع :

المعادلة العامة لحساب الجهود في أعضاء المنشآت هي :

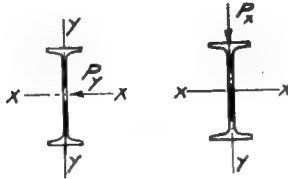
$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4-1)$$

والحد الأول من الطرف الأيمن يعطي الجهود على مقاطع الأعضاء المحملة تحملاً محورياً (مركزياً) حيث الجهود موزعة بانتظام على المقطع وتكون إما جهود شد وإما جهود ضغط حسب إحدى المعادلتين :

$$f = \frac{T}{A} \quad (4-2a)$$

$$f = \frac{C}{A} \quad (4-2b)$$

وكل من الحد الثاني والحد الثالث من الطرف الأيمن للمعادلة (4-1) يعطي الجهود على مقاطع الأعضاء المحملة تحملاً عرضياً ، أي في المستوى العمودي على محور العضو ماراً بأحد المحورين الرئيسيين للمقطع ، وبذلك يتعرض العضو لعزم حني مفرد حول المحور الآخر (Simple bending) .



شكل (4-4) - مقطع كمرة معرضة لعزم حني مفرد

وتكون معادلة الجهد على المقطع :

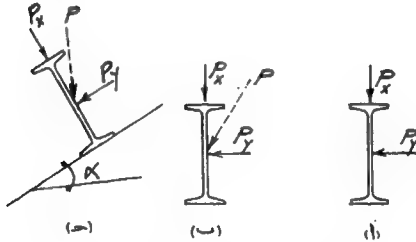
$$f = \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (4-3a)$$

$$f = \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4-3b)$$

وإذا تعرض العضو لحمل عرضي مار بكل من محوري المقطع (شكل ٤ - ١٠) أو لحمل عرضي يميل على المحورين (شكل ٤ - ١١) أو كان المحوران يميلان على الحمل (شكل ٤ - ١٢) فإن المقطع يتعرض لعزم حني حول كل من المحورين ، أو عزم حني مزدوج (Double bending) .

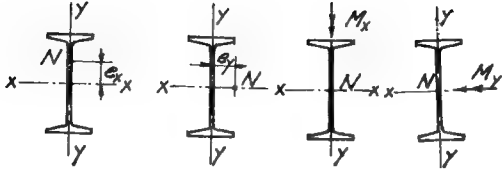
وتصبح معادلة الجهد على المقطع :

$$f = \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4-4)$$



شكل (٤-١٢) مقطع كمرة معرفة لعزم حني مزدوج

وإذا تعرض العضو لحمل عمودي غير محوري ولكنه واقع على أحد محوري المقطع (شكل ٤ - ١٦) ، أو تعرض العضو لحمل محوري ولعزم حني حول أي من محوري المقطع (شكل ٤ - ١٦) فإن المقطع يتعرض لعزم حني مركب (Compound bending) .



قوة غير محورية

قوة محورية + عزم حني

شكل (٤ - ٦) تحميل غير مركزي

وتصبح معادلة الجهد على المقطع :

$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e_x \cdot y}{I_x} \quad (4-5 a)$$

$$\text{or } f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (4-5 b)$$

$$\text{and } f = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e_y \cdot x}{I_y} \quad (4-5 c)$$

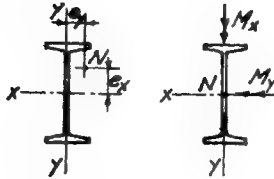
$$\text{or } f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4-5 d)$$

وإذا تعرض المعضو لحمل عمودي خارج محوري المقطع (شكل ٤ - ٧)
 (١) أو تعرض لحمل محوري ولعزم حني حول كل من محوري المقطع (شكل
 ٤ - ٧ ب) .

فنعندئذ تصبح معادلة الجهد على المقطع هي المعادلة العامة :

$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{N \cdot e_y \cdot x}{I_y} \quad (4-1 a)$$

$$\text{or } f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4-1 b)$$



شكل (4-7) الحالة العامة للتحميل

وسنرى فيما بعد أنه من الأفضل عند تصميم الاعضاء المعرضة لعزم حتى
استبدال الحديدين $\frac{I_x}{y}$ و $\frac{I_y}{x}$ بمعامري المقطع Z_x و Z_y

الإجهاد (Fatigue) :

إذا تعرض عضو لجهد ترددية (Alternating) تتغير بين شد وضغط أو
لجهد متكررة (Repeating) أي تتغير قيمتها تبعاً لظروف التحميل ، فإن
جزئياته تتباعد وتتقارب ، وبذلك يقاسي العضو من الإجهاد أي أنه يتعرض
للإعياء عند جهد أصغر من ذلك الجهد الذي ينهار عنده لو كان التغير في
الجهد غير ملحوظ . ولذلك فإنه عند تصميم مثل هذا العضو يجب خفض
الجهد المسموح به تبعاً لاتساع مجال التردد . والأوفق في هذه الحالة أن تزداد
القوة التي يصمم عليها العضو (وهذا طبعاً معادل لخفض الجهد المسموح
به) . وتسري هذه القاعدة على أي من مسببات الجهد : القوة ، عزم
الحي ، قوة القص .

وتزداد مسببات الجهد بضرب كل من القوتين S_{max} ، S_{min} ، المحسوبتين
لحمل الميت والحمل الحي مضافاً إليه تأثيره الديناميكي دون غيرهما من حالات
التحميل ، في المعامل γ الذي يساوي :

$$\gamma = 1.2 \left(1 - 0.33 \frac{S_{min}}{S_{max}} \right) \quad \text{للفولاذ ٣٧ و ٤٤}$$

$$\gamma = 1.33 \left(1 - 0.50 \frac{S_{min}}{S_{max}} \right) \quad \text{للفولاذ ٥٢}$$

وفيها γ لا يقل من الواحد الصحيح

و S_{min} و S_{max} كل بعلاقتها .

ويلاحظ أن $\gamma = 1$ في كلا المعادلتين عندما تكون $S_{min} = \frac{1}{2} S_{max}$ بالعلامة نفسها ، فهذا هو الحد الذي يبدأ عنده الانهك .

تصميم أعضاء الشد

أولاً - العضو ذو الوصلة الملحومة

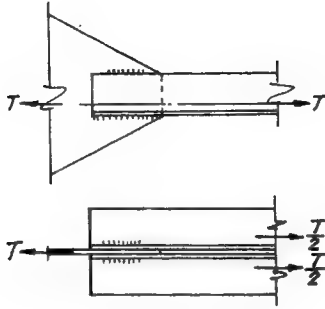
عندما يكون العضو متجانساً على جانبي لوح التجميع فإن محصلة القوتين في جزأيه تكون على امتداد القوة في اللوح وبذلك تكون الجهود موزعة بالتساوي على المقطع وتكون معادلة الجهد :

$$f = \frac{T}{A} \quad (4-2a)$$

والمجهول في هذه المعادلة هو (A) ، وبالتالي نحول المعادلة إلى الوضع التصميمي الآتي :

$$A_{req} = \frac{T}{f_{0.1}} \quad (4-6)$$

ونبها A_{req} هي المساحة المطلوبة للمقطع (سم^٢) .



شكل (٤-٨) - وصلة ملحومة

و T هي قوة الشد بالكيلوجرام (أو الطن)

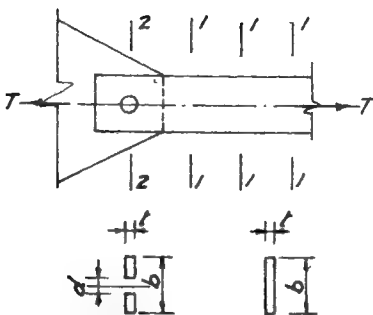
d هو الجهد المسموح به في حالة الشد ووحدته كيلوجرام / سم^٢ (أو طن / سم^٢).

ثانياً - العضو ذو الوصلة المبرشمة :

إذا تعرض عضو مقطعه $(b \times t)$ ، وكان مربوطاً بمسار قطره (d) ولقوة شد مقدارها (T) كان الجهد فيه :

$$f_1 = \frac{T}{b \times t} \quad (٤-٧)$$

ويستمر هذا الجهد في كامل طول العضو حتى القطع ٢-٢ ، فعند هذا القطع يُفقد جزء من المقطع مقاسه $(d.t)$ وبذلك تصبح المساحة من المقطع التي تقاوم القوة (T) هي المساحة الصافية وتساوي :



القطاعات (١ - ١) القطاع (٢ - ٢)

شكل (٩-٤)

$$A_{net} = b \times t - d \times t$$

$$= (b - d) t \quad (4-8)$$

ويسمى القطاع ٢-٢ بالقطاع الحرج (Critical section) ويكون الجهد فيه :

$$f_x = \frac{T}{(b - d).t} \quad (4-9)$$

وبتحويل المعادلة إلى الوضع التصميمي :

$$Req. A_{net} = \frac{T}{f_{pt}} \quad (4-10)$$

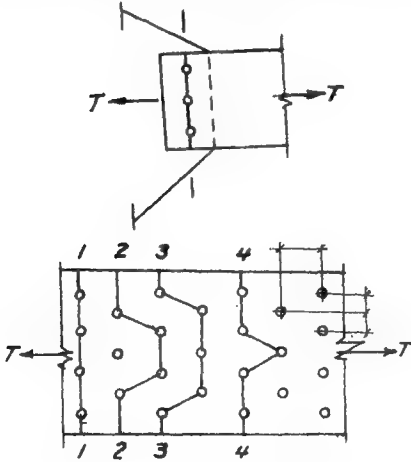
وبذلك تكون المساحة الكلية المطلوبة هي المساحة الصافية للمقطع مضافاً إليها ما يفقد من المقطع بسبب ثقب المسار .

$$Req A_{gross} = A_{net} + d \times t \quad (4-11)$$

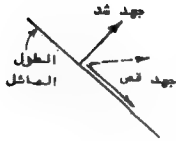
وإذا كان بالمقطع العمودي على محور القضيب وعلى القوة المؤثرة عند الوصلة أكثر من ثقب وجب إضافة الفقد من المقطع بسبب تلك الثقوب وتكون :

$$Req A_{gross} = A_{net} + \Sigma d \times t \quad (4-12)$$

وإذا كانت الثقوب لمسامير مترنحة فإن هناك احتمالاً أن يكون المقطع الخارج منكسراً مثل قطاع ٣-٣ وقطاع ٤-٤ اللذين يمران بعدد من الثقوب أكبر من تلك التي يمر بها القطاع العمودي ١-١ (شكل ٤-١٠) .



شكل (٤-١٠)



شكل (٤-١١)

ونظراً لأن جهود الشد التي تؤثر على اللوح ليست متعامدة على الأطوال المائلة من القطاع المنكسر فإن تأثيرها على تلك الأطوال يكون على هيئة جهود شد وجهود قص وهما عبارة عن مركبتي الجهد الأصلي عمودياً على الطول المائل وفي مستواه .

وبالرغم من أن جهد الشد على ذلك

الطول أقل من الجهد على القطاع العمودي إلا أن وجود جهود القص تزيد من الجهود الفعلية المؤثرة على الطول المائل . وتتطلب المواصفات مراجعة طول القطاع العمودي مع قطاعات أخرى يمر بعدد أكبر من الثقوب . فمثلاً الواضح من شكل (٤-١٠) أن القطاع ٢-٢ أطول من القطاع ١-١ وكلاهما يمر بأربعة ثقوب فالقطاع ١-١ أكثر خرجاً من ٢-٢ ولكن القطاع ٣-٣ الذي يمر بخمسة ثقوب وكذلك القطاع ٤-٤ تجب مقارنتهما بالقطاع ١-١ . ونص المواصفات كالآتي :

الطول الصافي لمقطع في عضو شد في خط مائل أو متعرج يمر بعدد من الثقوب ، يساوي طول المقطع العمودي على القوة ، مطروحاً منه أقطار تلك الثقوب مضافاً إليه المقدار $\frac{P}{4g}$ لكل ثقب حيث : P هي الخطوة بين ثقبين متجاورين في الاتجاه الطولي (اتجاه القوة) و g هي المسافة بين الثقبين نفسيهما في الاتجاه العرضي . وبذلك تكون المساحة الصافية :

$$A_{net} = t(b - \sum d + \sum \frac{P^2}{4g}) \quad (4-13)$$

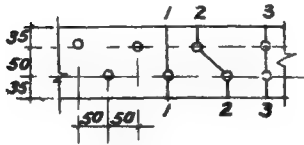
ويكون الطول الصافي الخارج لمقطع العضو هو الطول الأقل من المقاطع التي يمر بمجموعة ما من الثقوب .

ومن الواضح أنه كلما صغرت P وكبرت g كلما زاد احتمال أن يكون الخط المتعرج هو المقطع الخارج .

مثال (٤-١) - لإيجاد المقطع الحرج للوح مقاسه 120×10 به ثقب مترنحة قطر 20 مم (شكل (٤-١٢) .

قطاع ١-١ :

$$A_{net} = (12.0 - 2.0) \times 1.0 = 10.0 \text{ cm}^2$$



شكل (٤-١٢)

قطاع ٢-٢ :

$$A_{net} = 1.0 \times (12.0 - 2 \times 2.0 + 1 \times \frac{5^2}{4 \times 5})$$

$$= 9.25 \text{ cm}^2$$

∴ قطاع ٢-٢ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية 9.25 سم^٢.

مثال (٤-٢) لإيجاد المقطع الحرج لزاوية بكل من رجليها ثقب ليست في قطاع واحد متفرد الزاوية وتتبع الطريقة الموضحة في المثال السابق ففي الزاوية 70×7 التي بها ثقب قطر 17 سم ليست في قطاع واحد شكل

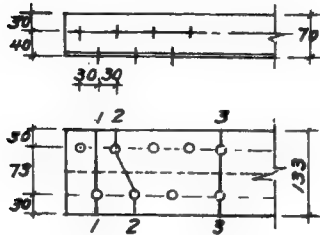
(٤-١٣) :

قطاع ١-١ :

$$A_{net} = (13.3 - 1.7) \times 0.7 = 8.12 \text{ cm}^2$$

قطاع ٢-٢ :

$$A_{net} = 0.7 (13.3 - 2 \times 1.7 + 1 \times \frac{3.0^2}{4 \times 7.3}) = 7.14 \text{ cm}^2$$



شكل (٤-١٣) - انفراد زاوية

∴ قطاع ٢-٢ هو المقطع الخارج ومساحته الصافية ٧,١٤ سم^٢.

مثال (٤-٣) - لإيجاد المقطع الخارج للورح ١٧٠×١٢ به ثقب متروحة
نظر ٢٠ مم (شكل ٤-١٤) :

قطاع ١-١ :

$$A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6 \text{ cm}^2$$

قطاع ٢-٢ :

$$A_{net} = 1.2 (17.0 - 3 \times 2.0 + 2 \times \frac{5.0^2}{4 \times 5.0}) = 16.2 \text{ cm}^2$$

∴ قطاع ١-١ هو المقطع الخارج ومساحته الصافية ١٥,٦ سم^٢.


$$A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١-١}$$

قطاع ٢-٢ :

$$A_{net} = 1.2 (17.0 - 3 \times 2.0 + 2 \times \frac{4.0^2}{4 \times 5.0}) = 15.12 \text{ cm}^2$$

∴ قطاع ٢-٢ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية ١٥,١٢ سم^٢.

مثال (٤ - ٥) - لإيجاد المقطع الحرج للوح مقاسه 12×280 به ثغوب مترنحة قطر ٢٠ مم ، (شكل ٤ - ١٥) :

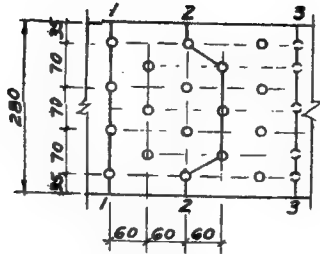
قطاع ١ - ١ :

$$A_{net} = (28.0 - 4 \times 2.0) \times 1.2 = 24.00 \text{ cm}^2$$

قطاع ٢-٢ :

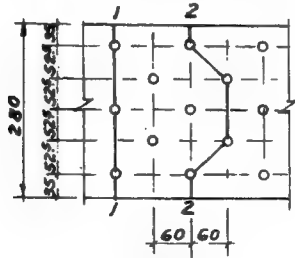
$$A_{\text{net}} = (28.0 - 5 \times 2.0 + 2 \times \frac{6.0^2}{4 \times 3.5}) = 27.77 \text{ cm}^2$$

∴ القطاع ١ - ١ هو الحرج ومساحته الصافية ٢٤,٠٠ سم^٢.



شكل (٤-١٥)

مثال (٤-٦) - لاجهاد المقطع الخارج للوح مقاسه 12×280 بعد
تخفيض عدد النيوب . (شكل ٤-١٦) :



شكل (٤-١٦)

∴ قطاع ١-١ :

$$A_{net} = (28.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2 = 26.40 \text{ cm}^2$$

قطاع ٢-٢ :

$$A_{net} = 1.2 (28.0 - h \times 2.0 + 2 \times \frac{6.0^2}{4 \times 5.25}) = 28.12 \text{ cm}^2$$

ونود أن نشير هنا إلى أن الطريقة المذكورة مأخوذة عن مواصفات المعهد الأمريكي للإنشاء بالصلب . أما المواصفات المصرية فلأنها تعطي طريقة أبسط في التطبيق ونتائجها أكثر تحفظاً من الطريقة السابقة ، والطريقة هي حساب المقطع المتعرج الذي يحوي عدداً من الثقوب ليست في قطاع واحد متعامد على القوة بأخذ الأطوال من ذلك القطاع العمودية على القوة بكامل طولها وأخذ ٨٠ ٪ من الأطوال المائلة التي تمر بين الثقوب . ويشترط في هذه الحالة ألا تقل مساحة المقطع المحسوبة بهذه الطريقة عن مساحة مقطع متعامد على القوة يفترض فيه وجود الثقوب التي يمر بها القطاع المتعرج .

وستدرس الأمثلة السابقة باستخدام هذه الطريقة :

مثال (٤ - ١)

$$A_{net} = (12.0 - 2.0) \times 1.0 = 10.0 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١}$$

$$A_{net} = 1.0 (3.5 + 0.8 \times 7.0 + 3.5 - 2 \times 2.0) = 8.68 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ٢ - ٢}$$

$$A_{net} = (12 - 2 \times 2.0) \times 1.0 = 8.00 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ٣ - ٣}$$

مثال (٤ - ٢)

$$A_{net} = (13.3 - 1.7) \times 0.7 = 8.12 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١}$$

$$A_{net} = 0.7 (3.0 + 0.8 \times 7.9 + 3.0 - 2 \times 1.7) = 6.24 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ٢ - ٢}$$

$$A_{net} = (13.3 - 2 \times 1.7) \times 0.7 = 6.93 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ٣ - ٣}$$

(لما كانت مساحة المقطع ٢-٢ أقل من مساحة المقطع ٣-٣ اعتبرت مساحة المقطع ٣-٣ هي المساحة الصافية الخارجة) .

مثال (٤ - ٣)

$$A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١} :$$

قطاع ٢ - ٢

$$A_{net} = 1.2 (3.5 + 0.8 \times 2 \times 7.1 + 3.5 - 3 \times 2.0) = 14.83 \text{ cm}^2$$

قطاع ٣ - ٣

$$A_{net} = (17.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2$$

مثال (٤ - ٤)

$$A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١}$$

$$A_{net} = 1.2 (3.5 + 0.8 \times 2 \times 6.4 + 3.5 - 3 \times 2.0) \quad \text{قطاع ٢ - ٢}$$

$$= \underline{13.49 \text{ cm}^2}$$

قطاع ٣ - ٣

$$A_{net} = (17.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2 = 13.2 \text{ cm}^2$$

ومن هذه الأمثلة يتضح أن هذه الطريقة تغطي نتائج أكثر تحفظاً من الطريقة الأولى . كما يلاحظ أنه في الأمثلة ١ و ٣ و ٤ كان القطاع ٢ - ٢ هو القطاع الحرج ؛ أما في المثال ٢ فإن مساحة القطاع ٢ - ٢ كانت أقل من مساحة القطاع ٣ - ٣ وبذلك تكون مساحة القطاع ٣ - ٣ هي المساحة الحرجة الصافية .

مثال (٤ - ٥) ، (شكل ٤ - ١٥) :

$$A_{net} = (28.0 - 4 \times 2.0) \times 1.2 = 24.00 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١}$$

قطاع ٢ - ٢

$$A_{net} = 1.2 (2 \times 3.5 + 2 \times 0.8 \times 7.0 + 2 \times 7.0 - 5 \times 2.0) \\ = 22.20 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = (28.0 - 5 \times 2.0) \times 1.2 = 21.60 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ٣ - ٣}$$

مثال (٤ - ٦) ، (شكل ٤ - ١٦)

$$A_{net} = (28.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2 \\ = 26.40 \text{ cm}^2 \quad \text{قطاع ١ - ١}$$

قطاع ٢ - ٢

$$A_{net} = 1.2 (2 \times 3.5 + 2 \times 0.8 \times 0.8 + 10.5 - 4 \times 2.0) \\ = 26.76 \text{ cm}^2$$

لا داعي هنا لحساب قطاع ٣ - ٣ لأن قطاع ١ - ١ هو الخارج .

اختيار المقطع (Choice of section) :

من المعادلتين 4 - 12 , 4 - 10 :

$$A_{gross} - \sum d \times t = \frac{T'}{f_{pt}} \quad (4-14)$$

وتحتوي هذه المعادلة في طرفها الأيسر ثلاثة مجاميل أحدها وهو قطر المسار يجب أن يكون معروفاً سلفاً ، ويتم اختياره بعد معرفة القوى في أعضاء الجمل . ويخضع اختياره للعوامل التالية :

- أ - تتناسب مقاومة القص للمسار مع قطره .
- ب - تتناسب مقاومة التحميل للمسار مع قطره ومع سمك لوح التجميع .

جـ - يفضل ألا يزيد عدد المسامير في وصلة على ٦ (في اتجاه القوة) ويتحدد ذلك العدد بالقوى في الأعضاء .

د - أن مقاس المسار يحدد أدنى مقاس للزاوية التي يمكن استعمالها (عرض رجل الزاوية يساوي تقريباً ثلاثة أمثال قطر المسار + سمك الزاوية) .

هـ - يتناسب سمك لوح التجميع مع القوى في الأعضاء ولا يقل عن ٨ مم في جمالونات الأسقف . ويوضح الجدول التالي قيماً يمكن الاسترشاد بها في اختيار قطر المسار :

جدول ٤ - ١

أصغر زاوية	مقاومة التصلب R_b (ton)	مقاومة القص R_{cs} (ton)	قطر المسار d (mm)	سمك لوح التجميع t (mm)	أكبر قوة في أعضاء الجمل $Max. Force$ (ton)
45 x 5	2.20	3.04	14	8	up to 15.00
55 x 5	2.93	4.45	17	8,10	16.00 - 25.00
65 x 7	3.93	6.15	20	10,12	26.00 - 35.00
65 x 7	4.70	6.15	20	12,14	> 35.00

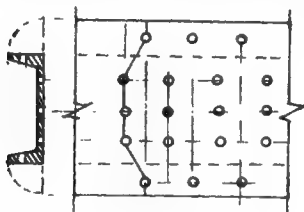
* هذه القيم لصلب S37

ويبقى في المعادلة (14 - 4) مجهولان وهما مساحة المقطع وسمكه .

وفي المقاطع المستطيلة في الأمثلة السابقة نجد أن نسبة الفاقد من المساحة ٢٢,٩ - ٢٣,٥ - ٢٥,٩ - ٢٨,٦ - ٢١,٤ في المائة من المساحة الكلية . ويتضح من المثال السادس أن المسامير متباعدة أكثر من غيرها وبذلك قلت نسبة الفاقد . أما المثال الثاني فإن الفاقد بسبب ثقب واحد يبلغ

١٢,٨ ٪ ويزيد الفاقد إلى ٢٣,٣ ٪ أو ٢٥,٦ ٪ بوجود ثقب في كل من الرجلين وتزيد نسبة الفاقد إلى ١٥ ٪ و ٢٧,٤ ٪ و ٣٠ ٪ على التوالي بزيادة قطر المسار من ١٧ إلى ٢٠ سم ويتبين من هذا أن زيادة قطر المسار يزيد من نسبة الفاقد كما أن وجود ثقبين في الزاوية حتى ولو لم يكونا في مقطع واحد يزيد من نسبة الفاقد ، وهو أمر يجب مراعاته في عمل وصلات الزوايا . حيث أن التصميم يجري عادة على اعتبار ثقب واحد في رجل واحدة - هذا إلا إذا كانت رجل الزاوية تتسع لمسارين .

ويشبه ترتيب المسامير في الألواح ترتيبها في المقاطع I والمقاطع المجرة حيث يفرد شفاء تلك المقاطع يمكن دراسة مقطعها الصافي :



شكل (٤-١٧) انفراد كمرة مجرة

نخلص من هذا إلى أن ما يفقد بسبب ثقب المسامير يبلغ في الزاوية بين ١٥ ٪ و ٢٠ ٪ من مساحتها الكلية ، وللمقاطع I والمجرة بين ٢٠ ٪ و ٢٥ ٪ . وتستخدم هذه القيم في حساب المقاطع اللازمة لأعضاء الشد حيث تحول المعادلة (٤-١٠) :

$$Req. A_{net} = \frac{T}{f_{s1}} \quad (4-10)$$

عند اختيار أعضاء الشد المكونة من زاويتين إلى المعادلة

$$Req A_{gross} = \frac{T}{0.85 f_{ot}} \quad (4-15)$$

مثال (٤ - ٧) - لاختيار مقطع مكوّن من زاويتين لتحمل قوة شد قدرها ١٩,٠٠ طناً - قطر البرشام ١٧ مم .

$$A_g = \frac{19,000}{0.85 \times 1400} = 16.0 \text{ cm}^2$$

$$A \text{ for } 1L = 8.0 \text{ cm}^2$$

$$Try 2L^{\#} 55 \times 55 \times 8 : A = 2 \times 8.23 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = 2 (8.23 - 1.7 \times 0.8) = 13.74 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{19,000}{13.74} = 1380 \text{ Kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

والآن لنحاول مقطعاً آخر .

$$Try 2L^{\#} 65 \times 65 \times 7 : A = 2 \times 8.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = 2 (8.7 - 1.7 \times 0.7) = 15.02 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{19,000}{15.02} = 1270 \text{ Kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

فكلا المقطعين يصلح ، ولكن الأول أوفر فهو أجدر بالاستعمال ؛ إلا أنه لا ينصح باستعماله لسببين : أحدهما فني والآخر عملي :

فأما الفني فلأن المقطع الثاني أقوى وأجسأ بنسب تزيد على زيادة المساحة (بالتالي الوزن) ، كما يتبين من الجدول التالي :

جدول ٤ - ٢

نسبة الفرق	زاويتان ٦٥ × ٧	زاويتان ٥٥ × ٨	
% ٥,٧ +	١٧,٤٠	١٦,٤٦	المساحة (سم ^٢)
% ٩,٣ +	٢١,٠٣	١٩,٢٤	المقدرة (طن)
% ١٢,٥ -	٢,٣٨	٢,٧٢	الفقد في المساحة سم ^٢
% ١٩,٥ +	١,٩٦	١,٦٤	الاجساءة (r cm)

وأما السبب العملي ، فإن المعتاد أن المتاجر ولاسيما في البلاد التي لا تصنع الصلب لا تحمل من المقاطع سوى الأقلها سمكاً فيكون التصميم بالمقاطع السمكة عرضة للإعادة بما يستتبعها من تعديل الرسومات والكميات بالمقاييس .

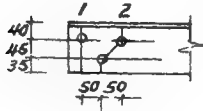
مثال (٤ - ٨) - لاختيار مقطع مكون من زاويتين ليتحمل قوة شد قدرها ٦٥ طناً - قطر البرشام ٢٠ مم .

$$Ag = \frac{65.000}{0.85 \times 1400} = 54.6 \text{ cm}^2$$

$$A \text{ for } 1 L = 27.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try } 2L^* 120 \times 120 \times 12 : A = 2 \times 27.5 \text{ cm}^2$$

وهذه الزاوية بها خطان للمسامير.



شكل (٤ - ١٨)

قطاع ١ - به ثقب واحد

$$A_{net} = 27.5 - 2.0 \times 1.2 = 25.1 \text{ cm}^2$$

قطاع ٢ - يمر بثقبين

$$A_{net} = 27.5 - 2 \times 2.0 \times 1.2 + \frac{5.0^2}{4 \times 45} = 24.09 \text{ cm}^2$$

∴ قطاع ٢ هو المخرج ، وتكون :

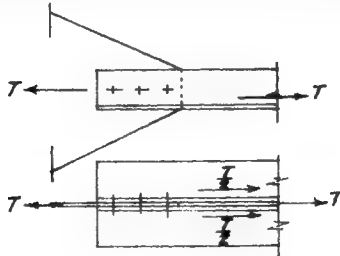
$$A_{net} = 2 \times 24.09 = 48.18 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{65000}{4818} = 1349 \text{ Kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

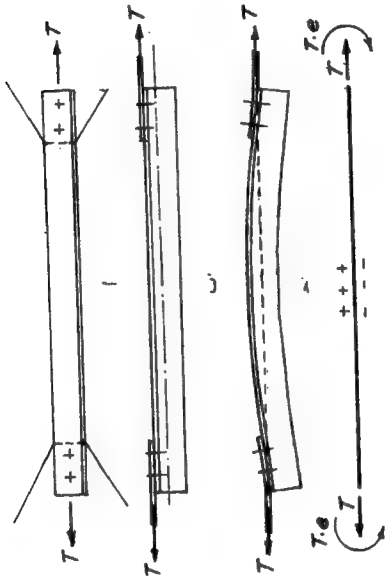
الوصلة غير المركزية :

إن المقطع المكون من زاويتين هو مقطع مماثل بالنسبة للوح التجميع الذي تنتقل إليه القوة . (شكل ٤ - ١٩) . وبذلك تكون القوة في مركز المقطع وتكون الجهود موزعة بانتظام على المقطع ، وبذلك أمكن تطبيق المعادلة



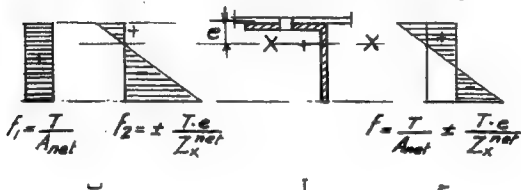
شكل (٤ - ١٩) وصلة مركزية

(10-4) ولكن قد يحدث أن يكون العضو مكوناً من عنصر واحد أو من عنصرين ولكنها موصولان في وجه واحد من لوح التجميع (شكل ٤ - ٧٠)



شكل (٤ - ٧٠)

ففي هذه الحالة تصبح القوة العمودية T غير محورية ويصبح تأثير هذه القوة معادلاً لقوة محورية قدرها T ولعزم حني مقداره $T \cdot e$ حيث e هي البعد بين مركز العضو ومتصف لوح التجميع كما في الشكل (٤-٢١) . ويصبح توزيع الجهود على المقطع كما في الشكل (٤-٢١ ح) الذي يظهر فيه ازدياد جهود الشد بدرجة كبيرة بالإضافة إلى تعرض طرف الرجل البارزة للزاوية لجهود ضغط .



شكل (٤-٢١)

مثال (٤-٩) - لتأخذ زاوية $100 \times 100 \times 10$ موصولة بلوح تجميع سمك 10 مم بمسامير قطر 20 مم وتعمل $12,000$ طنًا ؛ ولنجسب الجهود فيها .

$$L 100 \times 100 \times 10 - A = 19.2 \text{ cm}^2, \quad e = 2.82 \text{ cm} - I_x = 17.7 \text{ cm}^4$$

$$A_{net} = 19.2 - 2.0 \times 1.0 = 17.2 \text{ cm}^2$$

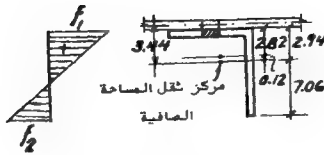
لايجاد مركز ثقل الزاوية الصافية :

$$e' = \frac{2.0}{17.2} = 0.12 \text{ cm}$$

$$e_x = 2.82 + 0.12 = 2.94 \text{ cm}$$

$$Net I_x = 177 + 19.2 \times 0.12^2 - 2.0(2.94 - 0.5)^2$$

$$= 165.4 \text{ cm}^4$$



شكل (٤-٢٢٢)

$$Net Z_{n1} = \frac{165.4}{2.94} = 56.3 \text{ cm}^3$$

$$Net Z_{n2} = \frac{165.4}{7.06} = 23.4 \text{ cm}^3$$

$$e = 2.94 + 0.5 = 3.44 \text{ cm}$$

$$M = 12000 \times 3.44 = 41280 \text{ Kg cm}$$

$$f_1 = + \frac{12000}{17.2} + \frac{41280}{56.3}$$

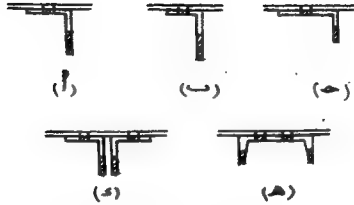
$$= + 698 + 733 = + 1431 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = + \frac{12000}{17.2} - \frac{41280}{23.4}$$

$$= + 698 - 1764 = -1066 \text{ Kg/cm}^2$$

ويتضح من هذا المثال المجهود الذي بذل لحساب المجهود في مقطع الزاوية. ولا شك أن اختيار مقطع من زاوية واحدة ليحمل قوة معينة يشكل عملية أكثر صعوبة ، لا يقتضيها تصميم جدران الأسقف . وقد تولت المواصفات هذا الموضوع فاقترحت الطريقة التقريبية التالية :

لحساب مقطع معرض لشد موصول وصلا غير مركزي تعتبر أن مساحته الفعالة (Useful Area) مساوية للمساحة الصافية للرجل الموصولة مضافاً إليها نصف مساحة الرجل البارزة (يعتبر عرض الرجل ناقصاً سمك الزاوية) كما هو موضح في الشكل (٤-٢٢ ب) .



شكل (٤-٢٢ ب)

وبحساب مقدرة أو حمولة (Capacity) الزاوية المفردة $100 \times 100 \times 10$
 ١٠ بهذه الطريقة :

$$\text{Useful area} = (10.0 - 2.0) \times 1.0 + \frac{1}{2} (9.0 \times 1.0) \\ = 12.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Capacity} = 12.5 \times 1400 = 17\,500 \text{ Kg}$$

وهذه الحمولة تزيد ٥٠ ٪ على ما يمكن تحميل الزاوية به حساباً . وربما
 دعانا هذا إلى تجنب استعمال الزاوية المفردة لأعضاء الجبالونات .

فإننا إذا قارنا عضواً من زاوية مفردة $100 \times 100 \times 10$ مساحتها
 ١٩,٢ سم^٢ بعضو مكون من زاويتين $70 \times 70 \times 7$ ومساحتها ١٨,٨ سم^٢
 نجد أن حمولة الزاويتين

$$\text{Capacity} = 2 (9.4 - 2.0 \times 0.7) \times 1400 = 22\,400 \text{ Kg}$$

أي أنه بمساحة أقل نحصل على مقدرة أكبر .

تصميم أعضاء الضغط (Design of Compression Members)

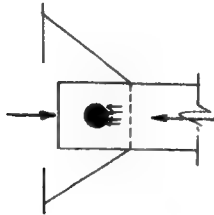
المعادلة رقم (4-2b) لأعضاء الضغط المحملة تحميلاً مركزياً :

$$f = \frac{C}{A} \quad (4-2b)$$

تحويل إلى المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{ob}} \quad (4-16)$$

وتختلف هذه المعادلة عن معادلة أعضاء الشد رقم (4-6) في أمرين :



شكل (4- ٢٣)

١ - أن المساحة المطلوبة إنما هي المساحة الكافية حيث أن المسامير محلاً تماماً ثقبها وبالتالي فإن جهود الضغط تنتقل إلى جسم المسار على هيئة جهود تحميل ولا يفقد شيء من المساحة .

٢ - أن جهد التحنيط f_{ob} ليس ثابتاً مثل جهد الشد f_p ولكنه يتوقف على نسبة النحافة الأصغر $\frac{L_e}{r}$ حيث L_e هو طول التحنيط للعضو بالنسبة لأي من المحورين الرئيسيين لمقطعه و r هو نصف قطر العطالة للمقطع حول المحور نفسه ، وهذا الأخير هو من خصائص المقطع .

وعلى هذا فإن المعادلة (16 - 4) تحتوي على مجهولين $f_{\text{eff}} A$ (الذي يتوقف على r) وكلاهما أي A و r من خصائص المقطع بالإضافة إلى أن L_{eff} أيضاً مجهول . وكما هي الحالة في معادلة واحدة تحوي مجهولين نلجأ إلى فرض أحدهما ، والأنسب في هذه الحالة فرض f_{eff} فمنه يمكن الحصول على (A) ، وكذلك الحصول على ما يقابله من $\frac{L_{\text{eff}}}{r}$. ومن حيث أنه يمكن حساب L_{eff} من وضع العضو في المنشأ وظروف نهايتيه ، فإنه يمكن استنتاج (r) . ولما كانت لمقاطع الصلب علاقة ما بين مقاساتها وأنصاف أقطار المعطالة فيها ، فإنه بمعرفة (r) يمكن الحصول على مقاسات المقاطع التي تناسب جهد التحنيب المفروض . ثم نقوم بعمل توفيق بين المقاس والمساحة حتى نحصل على المقطع المطلوب .

ولدراسة العاملين اللذين يتوقف عليهما f_{eff} :






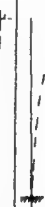
أولاً - طول التحنيب (Buckling length)

إن أول ما يعرف عن العضو طوله ولكن طول التحنيب يتوقف على ظروف نهايتي العضو . كما أنه يلزم دراسة التحنيب لعضو ما حول المحورين الرئيسين لمقطع العضو . وقد علمنا من دراسة حساب الإنشاءات أن أطوال التحنيب لأعضاء الضغط تختلف بحسب اختلاف ظروف نهايتي العضو (End Conditions) إلا أن الدراسات العملية قد أوردت بعض الاختلافات ، سببها الأساسي أنه في المنشآت المعدنية لا يمكن الحصول على تثبيت كامل لطرف عضو الضغط . ويوضح الجدول ٤ - ٣ التالي المأخوذ عن مواصفات المعهد الأمريكي لإنشاءات الصلب (A.I.S.C.) المعامل الذي يضرب في طول العضو ليعطي طول التحنيب .

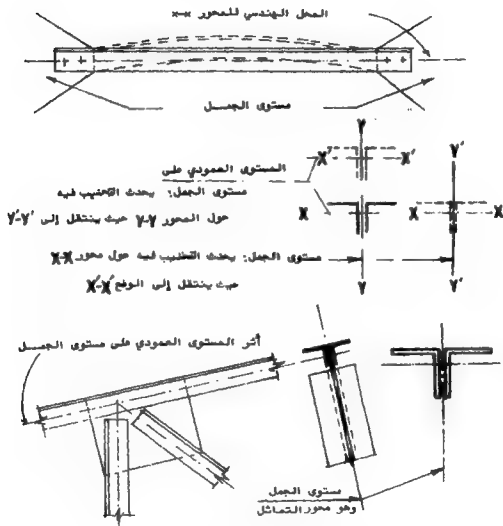
وتطبق المعاملات على أعضاء الضغط سواء أكانت أعمدة أم أرجل إطارات أم أعضاء في كمرات شبكية ، إلا أن الأمر يقتضي دراسة الظروف الفعلية لنهايتي عضو الضغط ومقارنتها بإحدى الحالات الموضحة بالجدول ثم تعديل ما قد يقتضي الأمر تعديله من المعاملات .

جدول ٤ - ٣

جدول أطوال التحنيط لأعضاء الضغط

حالة العضو	أ	ب	ج	د	هـ	و
كيفية حدوث التحنيط						
ظروف النهايتين	لا تحدث زحزحة لاي من النهايتين			تحدث زحزحة لإحدى النهايتين		
	نهايتان مثبتتان	نهاية مثبتة وأخرى مفصليّة	نهايتان مفصليّتان	نهايتان مثبتتان	نهاية مثبتة وأخرى مفصليّة	نهاية مثبتة وأخرى حرة
معامل التحنيط النظري	0.50	0.70	1.00	1.00	2.00	2.00
معامل التحنيط العملي	0.65	0.80	1.00	1.20	2.00	2.10

(Buckling lengths of truss members) أطوال التحنيط لأعضاء الجمل



شكل (٤-٧٤) - تحنيط أعضاء الجمل

نظراً لأن أغلب أعضاء الجمال متائلة حول مستوى الجمل وهو يمثل محور التائل لمقاطع الأعضاء أي يقع فيه أحد المحورين الرئيسين ، وهو بالنسبة لزائتين هو المحور الأكبر . وبذلك يُدرس احتال التحنيط في مستوى الجمل وكذلك في المستوى العمودي عليه كما يتضح من شكل ٤ - ٢٤ :

وتقسم أعضاء الجمال بالنسبة للتحنيط إلى فئتين :

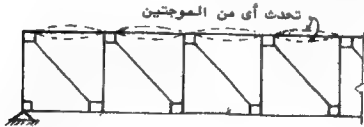
١ - أعضاء الأوتار العلوية والسفلية ، وتتميز بطولها الذي يمتد عبر العديد من العقد ، والذي قد يصل إلى فتحة الجمل كلها .

ب - أعضاء الجذع وتشمل الأقطار والقوائم .
وندرس الآن أطوال التحنيط لكل من هذه الأعضاء .

الأوتار :

أ - التحنيط في مستوى الجمل :

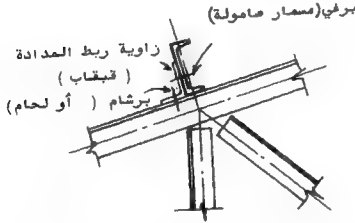
لو كانت عقد الجمل مفاصل حقيقية لكان طول التحنيط هو المسافة بين عقدتين متاليتين ، كما في الوضع (حـ) في جدول معاملات التحنيط . كما لا يمكن القول إن نهايتي عضو الوتر مثبتان في لوح التجميع ، بحيث يكون بحسب الوضع (أ) من الجدول المذكور . ولكن يمكن القول بأن النهايتين محسوتان ضد الدوران الكامل دون أن تكونا مثبتتين . وقد تعددت قيم معامل التحنيط في المواصفات المختلفة فهو يتراوح بين ٠.٦٥ ، ٠.١٠٠ . ونحدد المواصفات المصرية الرقم ٠.٨٥ .



شكل (٤ - ٢٥) - انبعاث وتر الضغط في مستوى الجمل

ب - التحنيط عمودياً على مستوى الجمل :

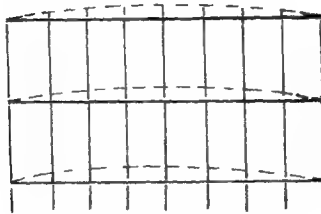
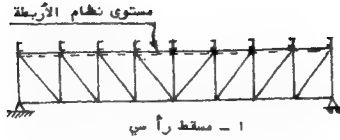
إذا كان طول التحنيط في مستوى الجمل هو نسبة من المسافة بين العقدتين ، فإنه يجب تحديد نقط يسند فيها الوتر في المستوى العمودي على الجمل وإلا كان الوتر غير مستقر .



شكل (٤-٢٦) المدادة ليست مربوطة في الجمل مباشرة

وعندما يكون الوتر العلوي عملاً وترتكز المدادات عند عقد الوتر فإنه يمكن اعتبار المدادات مساند ، إذا كانت تلك المدادات جزءاً من نظام الأربطة ، أربطة الريح أو شكالات الريح . فلما كان رباط المدادة في الجمل غير محكم شكل (٤ - ٢٦) وإنما يتم ببراهي في زاوية الرباط في نقطة أعلا من مستوى الوتر فإن ذلك الرباط لا يمنع من أن تتحرك المدادات في اتجاه تحنيط الوتر كما في الشكل (٤ - ٢٧) .

حتى يحين الحديث عن أربطة الريح ، نذكر هنا أن نظامها يكون في مستوى الوتر المعرض للضغط ويكون غالباً كالميلين بالشكل (٤-٢٨) فهو عبارة عن أقطار متقاطعة تضاف بين الوترين الرئيسين (للجملين) المراد سندهما بحيث يصبح هذان الوتران وترين في نظام الريح كما تصبح المدادات قوائم ذلك النظام الذي يصبح قادراً على مقاومة القوى التي في مستواه ومنها ضغط الرياح ، ومنها القوى التي تسبب التحنيط في الوتر . ويلزم أن يحتوي السطح

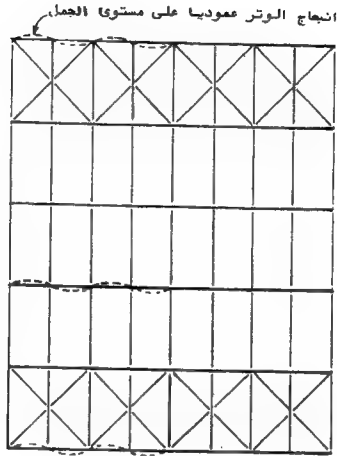


شكل (٤-٢٧) انهصاج التوتر في الممسود

على أكثر من نظام ، لأنه لا يمكن اعتبار المدادات أعضاء ضغط قادرة على سند التوتر بمفردها . فإذا زُوِدَ السطح بأكثر من نظام أربطة ، عملت المدادات فيما بين الأنظمة ببيئة أعضاء شد لا ضغط ، محملة على أحد النظامين .

ففي شكل (٤-٢٩) التوتران (١) و (٢) مسنودان بنظام الأربطة ، وإذا حدث انحناب كما في (٣) فإن ذلك يسبب شدا في المدادات التي أسفلها وإذا حدث انحناب كما في (٤) فإنه يسبب شدا في المدادات التي أعلاه . وبذلك تعتبر الأوتار فيما بين نظامي أربطة الريج مسنودة .

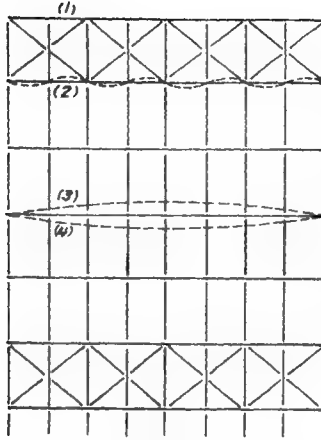
ويفضل ألا تتباعد أنظمة الأربطة عدداً كبيراً من الباكيات ، حتى لا يتجمع الحلووس الذي في الثقوب فتزيد فرصة حدوث الانحناب . وعندئذ يكون طول الانحناب ، عمودياً على مستوى الجمل ، هو المسافة بين



شكل (٤-٢٨) انجراج الوتر المستود

المدادات . ولا تكون ألواح التجميع فيها بين الجبال وأربطة الريح كبيرة المساحة في المعتاد لبساطة وصلات أعضاء الأربطة ، فهي بالتالي لا تقلل طول التحنيط عن المسافة بين المدادات .

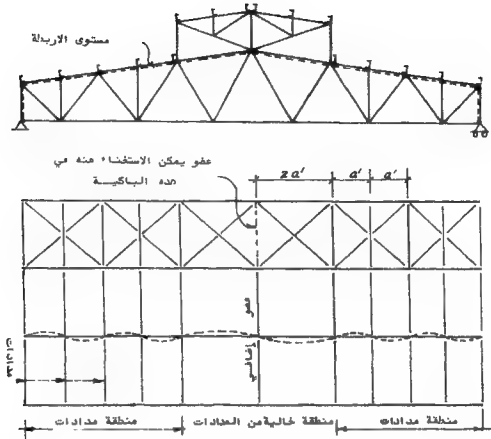
وفي الجمل الموضح بالشكل (٤ - ٣٠) والمزود بمنور (شخصيخة) لا توضع مدادات في منطقة المنور وبالتالي يصبح الوتر العلوي غير مستود في تلك المنطقة كما تكون قمة الجمل نقطة انكسار في عضو ضغط فهي نقطة ضعف ويجب سندها بإضافة عضو في مستوى نظام أربطة الريح .



شكل (٤ - ٢٩)

وبلاحظ في هذه الحالة اختلاف طول التحنيط ، عمودياً على مستوى الجمل ، في المنطقة الخالية من المدادات إذ يصبح ضعف المسافة بين المدادات ($2a'$) مع مراجعة المعادلة (١٧-٤) حيث a' طول البانوه على السطح المائل .

وتحتاج الكوابيل إلى نظام خاص بها لأربطة الريح في مستوى الوتر السفلي وذلك للحد من طول التحنيط عمودياً على مستوى الجمل . في هذه الحالة تكون كل الأقطار والقوائم أعضاء مُضَافَةً . وفي شكل (٤ - ٣١) يكون طول التحنيط في المستوى العمودي على الجمل ضعف مسافة البانوه ($2a'$) . وبالطبع يمكن تصغير ذلك الطول أو زيادته بتعديل نظام الأربطة .



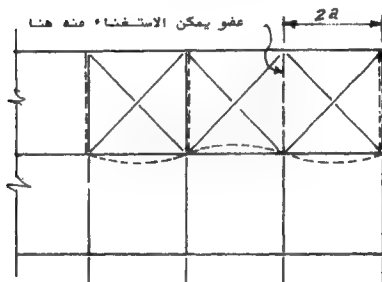
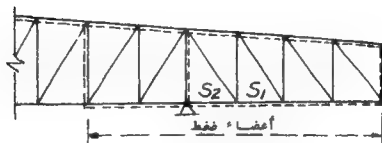
شكل (٣٠ - ٤)

وهنا تظهر نقطة أخرى : فالعلوم أن القوى في أعضاء الوتر السفلي للكابولي ليست ثابتة وإنما تتزايد كلما اتجهنا نحو الركيزة . ولا جدال في أن وترًا يختلف فيه القوتان على امتداد بانوهين يختلف عن وتر تتساوى القوتان في ضلعيه بمعنى أن قوة التحنيب المخرجة تكون أقل في الحالة الأولى وبالتالي يكون الجهد المسموح به أكبر . ويعادل هذا تقليل طول التحنيب في الحالة الأولى عنه في الحالة الثانية أي أنه في الحقيقة لا يساوي $2a$. وقد أظهرت الدراسات ما يلي :

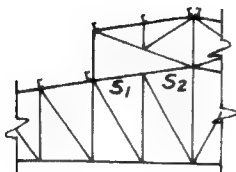
في عضو طوله $2L$ معرض لضغطين مقدارهما S_1 و S_2 في نصفيه حيث $S_1 > S_2$ يكون طول التحنيب المخفض :

$$L_b = 2a \left(0,75 + 0,25 \frac{S_1}{S_2} \right) \quad (4-17)$$

وتكون كل من S_1 ، S_2 بعلاقتها . كما لا يجوز أن يقل ذلك الطول عن a



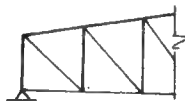
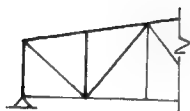
شكل (٤-٣١) نظام الأربطة في مستوى الوتر السفلي



شكل (٣٢-٤)

وينطبق هذا التخفيض على طول التحنيط للوتر العلوي الأوسط عمودياً على مستوى الجمل لو كانت القوتان مختلفتين وذلك حيثما يكون الجمل من طراز N كما هو واضح من الرسم المجاور في شكل (٣٢-٤) - ولهذا الموضوع دراسة مستفيضة في الفصل العاشر .

أعضاء الجلدع (الأقطار والقوائم) :
النوع الأول - الجمل ذات الأقطار المفردة :



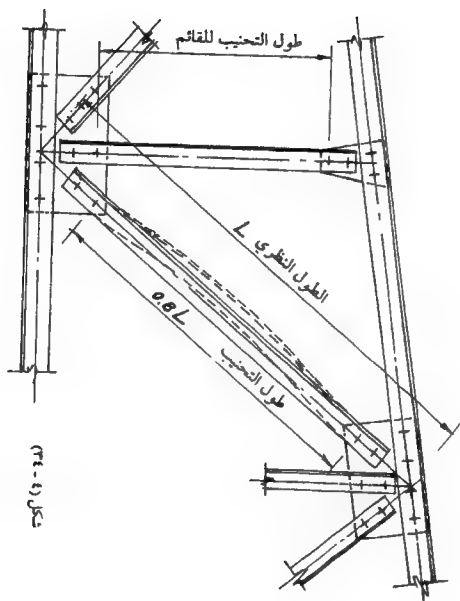
شكل (٣٣-٤) أعضاء الضغط قرب الركيزة

يوضح شكل (٣٣-٤) أعضاء الضغط بالجلدع من أقطار وقوائم في جمل من طراز N وجمل من طراز W :

١ - التحنيط في مستوى الجمل :

يتضح من شكل ٣٤ - ٤ أن جساءة لوحى التجميع للقطر تقصر من طول التحنيط بحيث لا يصل إلى الطول النظري وإذا كان المحور (X) هو مستوى الجمل وكان (L) هو الطول النظري للقطر أو القائم فإن :

$$L_{bx} = 0,80L$$



شكل (د-٣٤)

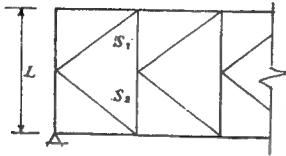
ب - التحنيط عمودياً على مستوى الجمل :

تكون ألواح التجميع رقيقة بالنسبة إلى جساءة الأعضاء ويكون احتمال التحنيط شاملاً الطول كله ، ويكون :

$$L_{by} = L$$

النوع الثاني - الجمال ذات الأقطار المزدوجة

١ - جمل طراز (K) :



الأقطار :

أ - في مستوى الجمل :
لا تكون وصلة القطر بالقائم
مثل وصلة القطر بالوتر
ولذلك يزداد طول التحنيط في
هذه الحالة ليصبح :

شكل (٤ - ٣٥) - جمل طراز K

$$L_{bx} = 0.9L$$

ب - عمودياً على مستوى الجمل - نجد أن نقطة تقابل القطرين تقع على القائم وهو عضو ضغط فهي غير ثابتة .

$$L_{by} = 1.2 L$$

وبذلك يكون

القوائم :

$$L_{bx} = 0.8 \frac{L}{2}$$

أ - في مستوى الجمل :

ب - عمودياً على مستوى الجمل - فإنه نظراً لأن القوتين في القائم ليستا متساويتين فتطبق المعادلة (17-4) :

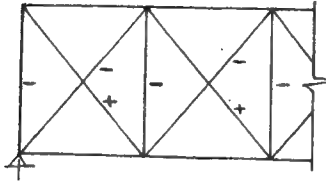
٣ - جمل طراز الأقطار المتقاطعة - (Crossed Diagonals) :

الأقطار:

$$L_{bx} = 0.8 \frac{L}{2}$$

أ - في مستوى الجمل

ب - عمودياً على مستوى الجمل :



شكل (٤ - ٣٧) - جمل طراز الأقطار المتقاطعة

يتوقف طول التحنيط على ما إذا كانت عقد وتر الضغط مسنودة أم

لا :

$$L_{by} = L$$

العقد غير مسنودة

$$L_{by} = 0.8L$$

العقد مسنودة

القوائم :

$$L_{bx} = 0.85L$$

أ - في مستوى الجمل

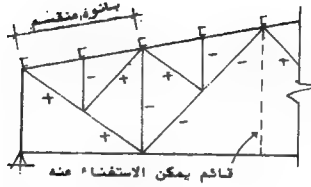
$$L_{by} = L$$

ب - عمودياً على مستوى الجمل

٤ - جمل طراز البانوهات المنقسمة :

الأقطار:

أ - في مستوى الجمل



شكل (٤-٣٨) - جمل ذو بانوهات منقسمة

$$L_{bx} = 0.8 \frac{L}{2}$$

ب - عمودياً على مستوى الجمل:

ويلاحظ هنا أن هناك فرقاً طفيفاً في القوتين في جزئي القطر لا يستدعي استخدام المعادلة (١٧-٤) .

القوائم :

$$L_{bx} = 0.8L$$

أ - في مستوى الجمل

$$L_{by} = L$$

ب - عمودياً على مستوى الجمل

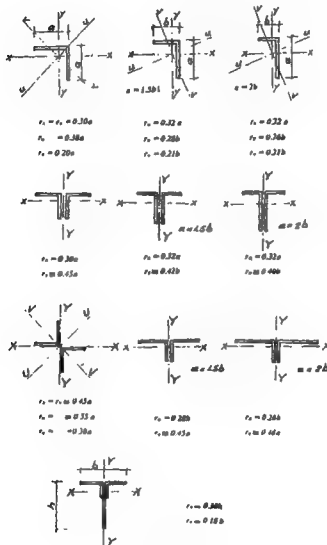
ثانياً - نصف قطر العطالة (r) - (Radius of Gyration) :

سبق أن أشرنا إلى أنه توجد لمقاطع الصلب علاقة فيما بين مقاسات المقطع ونصف قطر العطالة حول كل من محوريه الرئيسيين .

ويمكن استنتاج هذه العلاقة من مراجعة جداول المقاطع ، إذا كانت المقاطع جاهزة . كما يمكن استنتاج العلاقة بين مقاسات مقطع مبني ونصف قطر العطالة حول كل من محوريه الرئيسيين . ويكفي للاختيار المبني لمقطع

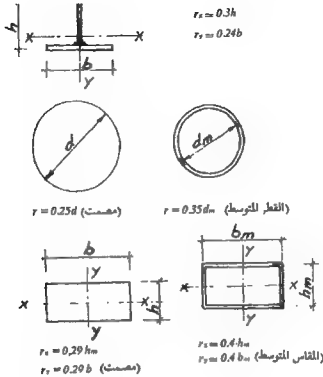
معرفة قيمة تقريبية لنصفي قطر عطالته . ونبين فيما يلي قبا تقريبية لنصف قطر العطالة حول كل من المحورين الرئيسين للمقاطع المستخدمة لأعضاء جالونات الأسقف :

أ - المقاطع البرشعبة ٤ (أوالمحومة) :



شكل (٤ - ٣٩)

ب - المقاطع الملحومة :



شكل (4 - 4)

ثالثا - اختيار المقطع (Choice of section) :

سبق أن أشرنا إلى أنه في المعادلة (4 - 16)

$$A_{req} = \frac{C}{f_{yb}} \quad (4 - 16)$$

من الأنسب فرض الجهد المسموح به في التثبيت f_{yb} ، حيث منه نحسب المساحة التي يتطلبها ذلك الفرض . كما أن فرض ذلك الجهد يؤدي إلى استنتاج نسبة النحافة $\frac{L_b}{r}$ المقابلة له . ولذلك يفضل فرض ذلك الجهد $f_{yb} = 700 \text{ kg/cm}^2$ ، لأن نسبة النحافة التي تقابله هي 100 . وبمعرفة L_b نحصل على (r) التي توافق المساحة المحسوبة . وبمعرفة شكل المقطع المراد

استخدامه يمكن استنتاج مقياس المقطع يتناسب مع قيمة (r) كما في شكل (4-39) وشكل (4-40).

وهكذا حصلنا على المساحة المطلوبة للمقطع (A) كما حصلنا على المقياس الذي يجب أن يكون عليه المقطع الذي مساحته (A) والأغلب ألا يكون الرقيان : المساحة والمقياس للمقطع نفسه ، ولذلك نجري التوفيق بينهما بانقاص أحد الرقمين وتعليق الآخر لكي نحصل على المقطع المناسب . ولكي نحصل على مقطع مكون من زاويتين متطاهرتين نجري الخطوات التالية :

Given C in Kg و L_0 in cm

Let $f_{00} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \longrightarrow$ for which $\frac{L_0}{r} = 100$

$$A_{000} = \frac{C}{700} \text{ cm}^2$$

$$r_x = \frac{L_{0x}}{100} \text{ cm}$$

For a section of $2L^2$:

$$r_y = \frac{L_{0y}}{100} \text{ cm}$$

$$A \text{ of } 1L = \dots \text{ cm}^2$$

$$a_x = \frac{r}{0.3}$$

$$a_y \approx \frac{r}{0.45}$$

والأكبر في القيمتين a يقارن بالقيمة A of $1L$

ولتوضيح ذلك نورد الأمثلة التالية :

مثال (٤ - ١٠) - المطلوب اختيار مقطع مكون من زاويتين متطاهرتين لمضرو ضغط يحمل ١٣,٢ طناً - طول التثبيت في الاتجاهين ١٠, ٢ متر .

Let $f_{00} = 700 \text{ Kg/cm}^2$

for which $\frac{L_0}{r} = 100$

$$A_{000} = \frac{13200}{700}$$

$$= 18.8 \text{ cm}^2$$

$$A \text{ of } 1L = 9.4 \text{ cm}^2$$

$$r_x = r_y = \frac{210}{100} = 2.1 \text{ cm}$$

$$a_x = \frac{2.1}{0.3} = 2.0 \text{ cm}$$

$$a_y \approx \frac{2.1}{0.45} = 5.8 \text{ cm}$$

∴ مطلوب زاوية مقاس رجلها ٧ سم ومساحة مقطعها ٤, ٩ سم^٢.

ومن الجداول نجد أن الزاوية $70^\circ \times 70^\circ \times 70^\circ$ مساحتها ٤, ٩ سم^٢ ومن الواضح أن هذا المقاس هو المطلوب . ويلزم حساب الجهد الفعلي في المقطع المكون من هاتين الزاويتين ومقارنته بالجهد المسموح به :

$$2L^3 70^\circ \times 70^\circ \times 70^\circ : A = 2 \times 9.4 \text{ cm}^2 - r_x = 2.12 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{210}{2.12} = 99 < 100$$

$$\therefore f_{ob} = 1300 - 0.06 \times 99^2 = 712 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{13200}{2 \times 9.4} = 691 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

مثال (٤ - ١١) - في المثال السابق ماذا سيكون المقطع لو كان طول التحنيط في الاتجاين ٢٠, ٤ متر .

$$\text{Let } f_{ob} = 700 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_{req} = \frac{13200}{700} = 18.8 \text{ cm}^2$$

$$A \text{ of } 1L = 9.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{for which } \frac{L_o}{r} = 100$$

$$r_x = r_y = \frac{420}{100} = 4.2 \text{ cm}$$

$$a_x = \frac{4.2}{0.3} = 14.0 \text{ cm}$$

$$a_v = \frac{4.2}{0.45} = 9.3 \text{ cm}$$

وبالطبع لا توجد زاوية مقاس رجلها ١٤ سم ومساحة مقطعها ٩,٤ سم^٢ ولكن بالبحث في الجدول نجد أن :

$$\begin{array}{lll} L 140 \times 140 \times 13 & A = 35.0 \text{ cm}^2 & \text{too big} \\ L 70 \times 70 \times 7 & A = 9.4 \text{ cm}^2 & \text{too small} \end{array}$$

فالزاوية ١٤٠ تحقق شرط المقاس ولكن مساحتها أكثر مما هو مطلوب لذلك المقاس فهي زاوية أكبر من اللازم .

والزاوية ٧٠ مقاسها أصغر من المطلوب وبالتالي نصف قطر عطائها وبذلك تزيد قيمة $\frac{L}{r}$ وعندئذ يقل الجهد المقابل لتلك القيمة عن ٧٠٠ كج/سم^٢ وذلك يتطلب مساحة أكبر من ٩,٤ سم^٢، وعلى ذلك فهذه الزاوية لا تصلح ، لأنها أصغر من اللازم . وسيكون هناك مقاس لزاوية فما بين المقاسين المذكورين يوفق فما بين المساحة والمقاس بحيث يصلح لتحمل القوة المؤثرة .

إذاً لنجرب الزاوية الوسط : $100 \times 100 \times 10$:

$$\text{Let us try } 2L^3 100 \times 100 \times 10:$$

$$A = 2 \times 19.2 = 38.4 \text{ cm}^2 \rightarrow r_n = 3.04 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bn}}{r_n} = \frac{1420}{3.04} = 138 > 100$$

$$f_{ob} = \frac{7\,000\,000}{(138)^2} = 368 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{13\,200}{38.4} = 338 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

مثال (٤ - ١٢) - في المثال السابق ماذا سيكون المقطع لو كان طول التحنّب في الاتجاهاين ١,٠٥ م .

$$Let f_{ob} = 700 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{for which } \frac{L_b}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{13\ 200}{700} = 18.8 \text{ cm}^2$$

$$r_x = r_y = \frac{105}{100} = 1.05 \text{ cm}$$

$$A \text{ of } 1L = 9.4 \text{ cm}^2$$

$$a_x = \frac{1.05}{0.3} = 3.5 \text{ cm}$$

$$a_y = \frac{1.05}{0.45} = 2.5 \text{ cm}$$

من الجدول:

$$L \ 70 \times 70 \times 7$$

$$A = 9.4 \text{ cm}^2$$

too big

$$L \ 35 \times 35 \times 3^*$$

$$A = 2.04 \text{ cm}^2$$

too small

* (أصغر مقاس للزاوية يمكن استخدامه 80×80 - وقد رصدت تلك

الزاوية هنا لمجرد التسجيل)

$$\text{Try } 2L^* 60 \times 60 \times 6$$

$$A = 2 \times 6.91 = 13.82 \text{ cm}^2, r_x = 1.82 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{105}{1.82} = 58 < 100$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times 58^2 = 1098 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{13\ 200}{13.82} = 941 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

مثال (٤ - ١٣) - وتر معرض لقوة ضغط مقدارها ١٣,٢ طن وطوله في

مستوى الجمل ١٠,٢ م ومسند عمودياً على مستوى الجمل على مسافة طولين والمطلوب اختيار مقطع مكون من زاويتين متطابعتين .

$$\text{Given : } C = 13\ 200 \text{ Kg}, L = 210 \text{ cm}$$

$$L_{bx} = 0.85 \times 210 = 179 \text{ cm} - L_{by} = 2 \times 210 = 420 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_{yb} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \text{ for which } \frac{L_b}{r} \approx 100.$$

$$A_{req} = \frac{13200}{700} \\ = 18.8 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \frac{179}{100} = 1.79 \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{420}{100} = 4.20 \text{ cm}$$

$$A \text{ of } I L = 9.4 \text{ cm}^2$$

$$a_x = \frac{1.79}{0.3} = 6.0 \text{ cm}$$

$$a_y = \frac{4.20}{0.45} = 9.3 \text{ cm}$$

من الجداول:

$$L 70 \times 70 \times 7 \quad A = 9.4 \text{ cm}^2 \quad \text{too small}$$

$$L 100 \times 100 \times 10 \quad A = 19.2 \text{ cm}^2 \quad \text{too big}$$

$$T 12.5 \times 80 \times 80 \times 8 - A = 2 \times 12.3 = 24.6 \text{ cm}^2$$

$$r_x = r_y = 2.42 \text{ cm} - e_x = 2.26 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{(2.42)^2 + (2.26 + 0.5)^2} \\ = 3.67 \text{ cm}$$

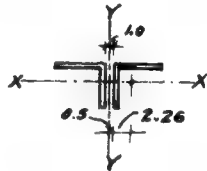
$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{420}{3.67} = 114 > 100$$

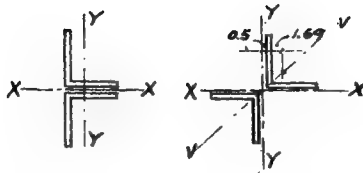
$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{179}{2.42} = 74$$

$$f_{yb} = \frac{7000000}{(114)^2} = 539 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{نكل (٤١ - ٤)}$$

$$f_{yb1} = \frac{13200}{24.6} = 537 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

مثال (٤ - ١٤) - المطلوب تصميم مقطع مكون من زاويتين بشكل نجم لقائم طوله ١٠، ٢ متر ويحمل ١٣، ٢ طنًا .





١- مقطع صادي ٢- مقطع بهيئة نجمة

X-X هو مستوى الجبل
Y-Y هو المستوى العمودي على مستوى الجبل
شكل (٤-٤٢)

$$C = 13200 \text{ kg}$$

$$L_{bx} = L_{by} = 0.8 \times 210 = 168 \text{ cm}$$

$$L_{by} = 210 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_{ob} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{for which } \frac{L_b}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{13200}{700}$$

$$r_x = \frac{168}{100} = 1.68 \text{ cm}$$

$$= 18.8 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \frac{210}{100} = 2.10 \text{ cm}$$

$$A \text{ of } 1L = 9.4 \text{ cm}^2$$

$$a_y = \frac{1.68}{0.38} = 4.4 \text{ cm}$$

$$a_y = \frac{2.10}{0.45} = 4.7 \text{ cm}$$

$$L 70 \times 70 \times 7$$

$$A = 9.4 \text{ cm}^2 \quad \text{too big}$$

$$L 50 \times 50 \times 5$$

$$A = 4.8 \text{ cm}^2 \quad \text{too small}$$

$$T, 2L^s 60 \times 60 \times 6, A = 2 \times 6.91 = 13.82 \text{ cm}^2, e_x = 1.69 \text{ cm}$$

$$r_u = r_v = 2.29 \text{ cm} , r_x = 1.82 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{168}{2.29} = 74$$

$$r_v = \sqrt{(1.82)^2 + (1.69 + 0.5)^2} = 2.85 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{210}{2.85} = 74$$

$$f_{no} = 1300 - 0.06 \times 74^2 = 971 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{no1} = \frac{13200}{2 \times 6.91} = 955 \text{ Kg/cm}^2 \quad O.K.$$

ملحوظة : يحتاج هذا العضو إلى زاويتين 7×65 إذا استخدمنا زاويتين متطابرتين .

عضو الضغط الموصول وصلا غير مركزي :

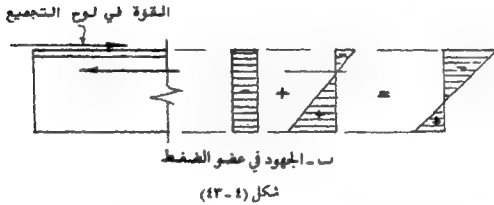
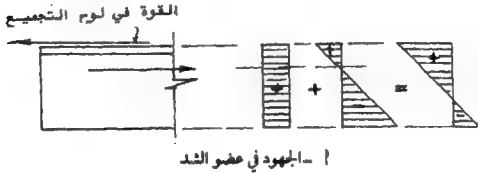
(Eccentrically — connected compression members)

سبق أن أوضحنا أن عضو الشد الموصول وصلا غير مركزي يتعرض لعزم حني بالإضافة إلى القوة المحورية وأنه لذلك تزداد جهود الشد في المقطع ، وأنه في مقابل تلك الزيادة ينحصر جزء من مقطع الزاوية . وكذلك فإن عضو الضغط الموصول وصلا غير مركزي يتعرض لعزم حني بالإضافة إلى القوة المحورية ، وتزداد جهود الضغط في المقطع .

ولما كان العضو إذا تعرض لقوة ضغط يكون أسوأ حالا مما لو كانت القوة شدا ، بمعنى أنه يحتاج لمقطع أكبر ، فإنه ينتظر أن يكون الخصم في المقطع في حالة الضغط أكبر منه في حالة الشد . وتنص المواصفات على الآتي : إذا وصل عضو ضغط وصلا غير مركزي اعتبر له جهد تشغيل قدره ٦٠٪ من جهد التحنيب المسموح به :

Working buckling stress = 0.60 Permissible buckling stress

$$f_{wb} = 0.60 f_{pb}$$



مثال (٤-١٥) - المطلوب تصميم مقطع مكون من زاوية واحدة ليتحمل قوة ضغط قدرها ٢,٠ طن ، إذا كان طول التثبيت ٢,١٠ متر

$$\text{Let } f_{pb} = 700 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{for which } \frac{Lb}{r} = 100$$

$$\therefore f_{wb} = 0.6 \times 700 = 420 \text{ Kg/cm}^2$$

$$r_{min} = r_v = \frac{210}{100} = 2.1 \text{ cm}$$

$$A_{req} = \frac{2000}{420} = 4.76 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{2.1}{0.2} = 10.5 \text{ cm}$$

$$L 50 \times 50 \times 5 \quad \therefore \quad A = 4.80 \text{ cm}^2 \quad \text{too small}$$

$$L_{110} \times 110 \times 10 : A = 21.2 \text{ cm}^2 \quad \text{too big}$$

$$T_{110} 175 \times 75 \times 7, A = 10.1 \text{ cm}^2, r_v = 1.45 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bv}}{r_v} = \frac{210}{1.45} = 145$$

$$f_{ob} = \frac{7\,000\,000}{(145)^2} = 333 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{wb} = 0.60 \times 333 = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{2\,000}{10.1} = 198 \text{ Kg/cm}^2. \quad \therefore (O.K.)$$

وبمقارنة مقطع مكون من زاويتين :

$$2L^{\#} 45 \times 45 \times 5, A = 2 \times 430 = 8.60 \text{ cm}^2, l_u = 1.35 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{210}{1.35} = 156$$

$$f_{ob} = \frac{7\,000\,000}{(156)^2} = 288 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{2000}{8.60} = 233 \text{ Kg/cm}^2$$

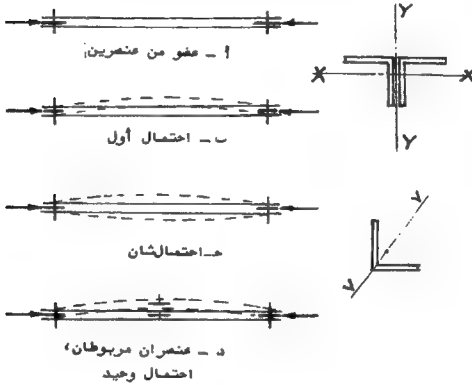
فهذا المقطع أكثر اقتصاداً كما أنه يكون غير معرض للتحنيب المصحوب بالنواء . ولكن إذا كان مقاس أصغر زاوية يمكن استخدامها مقيداً بقطر المسار فقد نضطر مثلاً لاستخدام زاويتين 7×6 (إذا كان قطر المسار ٢٠ سم) ومساحتهما ١٧, ٤٠ سم^٢ فتكون الزاوية الواحدة في هذه الحالة أكثر اقتصاداً .

ولا تستخدم الزاوية الواحدة في الجبال الحاملة إلا في الأقطار أو في

القوائم غير المجهدة أو التي لا تحمل سوى ثقل المادة . إلا أنها تستخدم بكثرة في أعضاء الأربطة وشكالات الريح .

ألواح الربط (Tie plates)

إذا تعرض عضو مكون من عنصرين (شكل ٤ - ٤٤) لقوة ضغط تتزايد فإن التحنيب يمتثل أن يحدث للعنصرين سوياً (شكل ب) . أو منفردين (شكل ح) ويتوقف ذلك على قيمة $\frac{L_{bx}}{r}$ في كلتي الحالتين :



شكل (٤ - ٤٤)

فإذا انبجج العنصران معاً في عضو مكون من زاويتين متساويتين كان :

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{3.3L_{bx}}{a} \quad (r_x = 0.3a) \dots (a)$$

وإذا اتبع العنصران منفصلين كان :

$$\frac{L_{bv}}{r_v} = \frac{5.0 L_{bx}}{a} \quad (r_v = 0.2a) \dots (b)$$

ولما كان L_{bv} يساوي L_{bx} إن لم يكن أكبر منه فإن احتمال التحنيب للزاوية الواحدة أكثر من احتمال التحنيب لزاويتين وتصبح نسبة النحافة أكبر بمقدار ٥٠٪ ولا يكون التصميم الذي يفترض أن الزاويتين تعملان معاً صحيحاً . ويتساوى احتمال التحنيب للعنصرين معاً مع احتمال التحنيب للعنصر الواحد إذا كان طول التحنيب في الحالة الأخيرة $L_{bx} \frac{2}{3}$ حيث بمساواة المعادلتين (a) ، (b) :

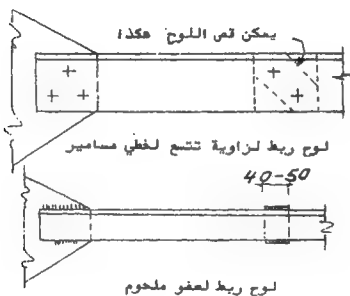
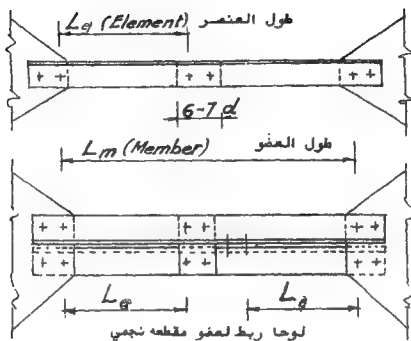
$$\frac{L_{bv}}{0.2a} = \frac{L_{bx}}{0.3a}$$

$$\therefore L_{bv} = \frac{2}{3} L_{bx}$$

فإذا ربط العنصران معاً في منتصف الطول كان احتمال التحنيب للعنصرين معاً أكثر من احتمال التحنيب لكل عنصر على انفراد . إذ تكون نسبة نحافة كل من عنصري العضو $\frac{2}{3}$ نسبة نحافة العضو . وهذا ما تنص عليه المواصفات ، إلا أنها تضيف على ذلك أنه يجب ألا تزيد نسبة نحافة العنصر على ٦٠ . هذا وتنص بعض المواصفات على أنه يجب ألا يزيد الطول الحر للعنصر على ٣٠ سم وبعضها على ٦٠ سم .

وعلى هذا يجب ربط عنصري الضغط أو عناصره ببعضها ببعض بحيث تحقق الشرطين المذكورين ويكون ذلك باستعمال السواح وابط ، تربط إما بالبراشيم وإما باللحام .
ربط أعضاء الضغط :

يربط عنصراً عضو الضغط بلوح سمكه يساوى سمك لوح التجميع ويتسع لسبارين . ويحتاج العضو المكون من زاويتين بشكل نجمي إلى لوحين متعامدين كما في شكل (٤ - ٤٥) .



شكل (٤٥-١) - ألواح ربط الأضلاع

ربط أعضاء الشد:

رغم أنه ليس لازماً ، إلا أن عنصري عضو الشد يربطان كلاً في أعضاء الضغط وذلك لزيادة جسامته . إلا أنه يمكن أن يكون الرباط بمسار واحد مع استعمال وردة مستديرة ، وهي بالطبع مكلفة في عملها . ولكن لا ينصح باستعمال لوح مستطيل الشكل أو مربع به مسار واحد لاحتفال أن يدور أثناء عملية النق.



شكل (٤-٤٦) وردة ربط لعضو شد

قيود إضافية:

إن تصميم الأعضاء ، أي الحصول على المساحة المطلوبة للمضغو استيفاء للمجهود المسموح بها ليس هو الحكم دائماً في اختيار المقاطع ، إذ أن جساءة الأعضاء أمر مطلوب للأسباب الآتية:

أولاً : مقاومة الترخيم (سهم الانحناء) (Deflection) . وفي هذا الشأن تضع المواصفات حدوداً للكمرات كالآتي:

١ - ألا يقل العمق عن $\frac{1}{4}$ من الفتحة للمدادات ، وينحسن ألا يقل عن $\frac{1}{3}$.

من الفتحة ، ولا عن $\frac{1}{4}$ من الفتحة لكمرات الأسقف ولا عن $\frac{1}{3}$ لكمرات الأسقف المعرضة لهدمات أو ذبذبات .

٢ - ألا يزيد سهم الانحناء عما يلي:

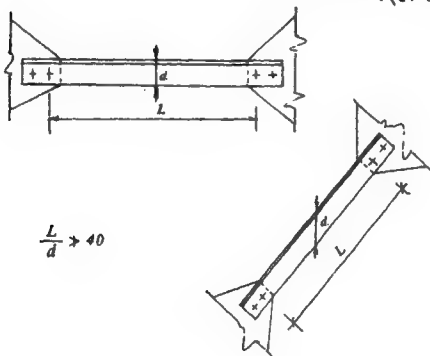
أ - $\frac{1}{36}$ من الفتحة في المباني العادية، ويستحسن ألا يقل عن $\frac{1}{48}$ من الفتحة.

ب - $\frac{1}{72}$ من الفتحة في جسور الطرق.

ج - $\frac{1}{96}$ من الفتحة في جسور سكة الحديد وكمرات الأوتاش والمرفاعات.

ثانياً : مقاومة الترخيم وكذلك مقاومة الميزات التي قد تسببها الآلات الدائرة والمكابس وغيرها . وفي هذا الشأن تضع المواصفات الحدود الآتية للأعضاء :

أ - ألا يقل عمق العضو عن $\frac{1}{8}$ من طوله الحر كما في شكل (٤ - ٤٧) .



شكل (٤ - ٤٧)

ب - ألا تزيد نسبة النعافة على الحدود الآتية :

	نسبة النعافة $\frac{L_e}{P}$ لا تزيد على :	
	الأعضاء الرئيسية	الأعضاء الثانوية
أعضاء الضغط	180	200
أعضاء الشد	300	300

ثالثاً : قيود على سمك العضو ومقامه :

أ - ألا يقل سمك أي عنصر عن ٥مم .

ب - ألا يقل مقياس الزاوية المتساوية عن $٥ \times ٤٥ \times ٥ \times ٥$ والزاوية غير المتساوية عن $٥ \times ٣٠ \times ٤٥$.

ج - أن يكون مقياس رجل الزاوية (a) بالنسبة لقطر المسار المستخدم (d) كما يلي :

$$a = 3d + t \quad (\text{تقريباً})$$

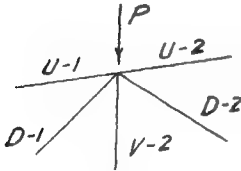
حيث (t) سمك رجل الزاوية .

الفصل الخامس

حساب المفاصل

(Calculation of Joints)

المفصل أو العقدة ، حيث تتقابل أعضاء الكمرات الشبكية والجملونات ، هي النقطة التي تتقابل فيها القوى التي في الأعضاء وتقابل القوى الخارجية إذا ما وجدت ، حيث تكون في حالة اتزان . لكي لا تتعرض العقدة لعزوم حتى يلزم :



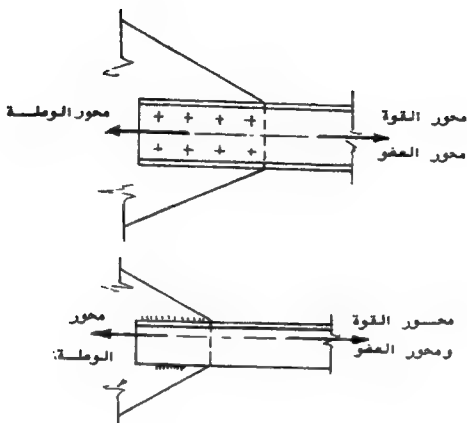
شكل (١-٥)

١ - أن تتقابل عاود الأعضاء مع القوى الخارجية في نقطة واحدة - هي العقدة وهذا الشرط يمكن تحقيقه في أغلب الأحيان .

٢ - أن ينطبق خط القوة في العضو (محور العضو) مع محور وسائل نقل القوة ، وهذا الشرط يمكن تحقيقه في حالتين :

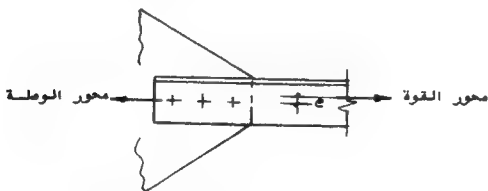
أ - المقاطع العريضة التي تتسع لصفين أو أكثر من المسامير .

ب - الأعضاء المملوومة .



شكل (٢-٥) وصلة محورية

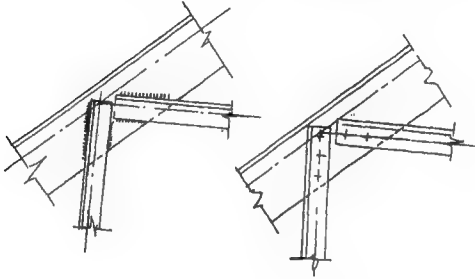
أما العضو المكون من زاوية أو زاويتين وموصول بالسامير فإن وصلته تكون معرضة لمزح حني وبالتالي العضو نفسه ، شكل (٣-٥) .



شكل (٣-٥) - وصلة معرضة لمزح حني

الوصلات المباشرة :

- يمكن أن تتصل أعضاء الجذع بالوتر مباشرة في حالتين :
- ١ - إذا كان مقطع الوتر على شكل (T) ، سواء كانت الوصلة مبرشمة أم ملحومة كما في شكل (٤ - ٥) :

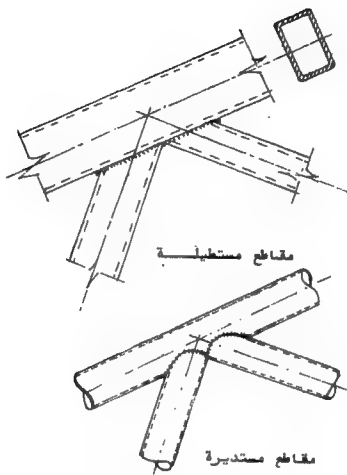


- ١ - وصلة مباشرة مبرشمة ب - وصلة مباشرة ملحومة

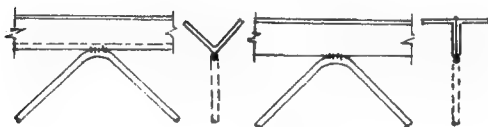
شكل (٤ - ٥) - الوصلة المباشرة

- ب - إذا كانت أعضاء الجمل من القطاعات الأنبوبية (Tubular sections) الملحومة الوصلات كما في شكل (٥ - ٥) :

- ج - في الكمرات الشبكية الخفيفة والتي أقطارها عبارة عن قضبان مستديرة أو مربعة كما في شكل (٦ - ٥) :



شكل (٥-٥) - وصلة مقاطع أنبوبية



شكل (٦-٥)

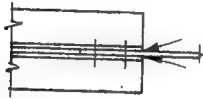
حساب المفصل

عدد المسامير (n) اللازمة لوصل عضو يحمل قوة قدرها (S) إلى لوح

التجميع :

$$n = \frac{S}{R_{\text{less}}}$$

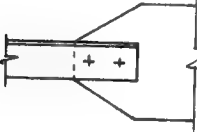
(5-1)



أ - مستويان للقص المزدوج



ب - مستوى للقص المفرد



ج - مقطع مواجه

شكل (5-1)

حيث R_{less} هي المقاومة الأقل

المسار من القيمتين : مقاومة القص

ومقاومة التحميل . ونجب ملاحظة أنه

إذا كان العضو موصولاً على كل من

وجهي لوح التجميع فإن المسامير تعمل

في قص مزدوج (شكل 5-1 أ) أما

إذا كان موصولاً في وجه واحد فإن

المسامير تعمل في قص مفرد (شكل

5-1 ب) . ومن الوجهة النظرية فإن

القوى - خارجية وداخلية عند مفصل

تكون في اتزان ، إلا :

١ - إذا انتقلت إحدى القوى عن نقطة

التقاطع وفي هذه الحالة يحدث في

المفصل عزم حني يتغل بدوره

إلى الأعضاء في تلك النقطة ، كل

بنسبة جسامته المتعلقة بعزم الحني

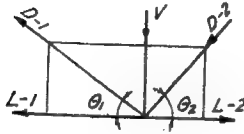
وهي $\frac{1}{I_x}$.

ولعلّ هذا من الأسباب التي حُدّت إلى تفضيل أن تكون أعضاء الوتر من نفس

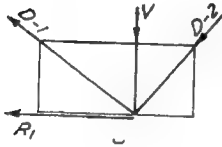
المقطع حتى يكون المحور الطولي للعضوين على استقامة واحدة .



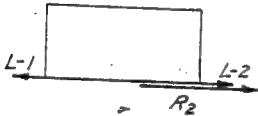
شكل (٩-٥) - مزم حني عند وصل مفوي وتر مختلفي المقطع



١



٢



شكل (١٠-٥)

٢ - عندما لا تكون القوى

القضوي في الأعضاء

المتقابلة في مفصل ناشئة عن

حالة واحدة من التحمل .

ففي الوصلة الموضحة ،

بشكل (٥-١٠) ، لكي تكون

القوى في حالة اتزان يجب أن

تكون محصلة القوى في اتجاهين

متعاكسين مساوية للصفر ، أي

أن :

$$L_2 - L_1 = D_1 \cos \theta_1 + D_2 \cos \theta_2$$

(5-2 a)

$$V = D_1 \sin \theta_1 - D_2 \sin \theta_2$$

(5-2 b)

(سميت القوى متجاوzaً)

بأسماء الأعضاء) .

ولندرس الآن حالة لوح

التجميع تحت تأثير هذه القوى :

أ - عند نقل القوى في أعضاء الجذع إلى لوح التجميع فإن اللوح يتحرك في

اتجاه محصلة القوى (R) (شكل ٥-١٠ ب) لولا أن يكون مربوطاً في

الوتر بمسامير تقاوم تلك المحصلة .

ب - كما أن الوتر يتحرك في اتجاه المحصلة R_2 للقيوتين في عضويه ، لولا أن يكون مربوطاً في لوح التجميع بمسامير تقاوم تلك المحصلة .

فإذا لم تكن المحصلتان متساويتين ، وجب ربط الوتر في لوح التجميع بمسامير تقاوم المحصلة الأكبر قيمة .

وهناك فرق بين أن يكون الوتر مستمراً أي يكون العضو ممتداً عبر العقدة ، وبين أن يكون كل من جزئيه منفصلاً عند العقدة :

أ - فإذا كان الوتر منفصلاً ، ربط كل من عضويه في لوح التجميع بمسامير تقاوم القوة التي ينقلها ، شأنها في ذلك شأن أعضاء الجذع .

ب - وإذا كان الوتر متصلاً ، ربط في لوح التجميع بمسامير تقاوم أكبر قيمة من المحصلتين :

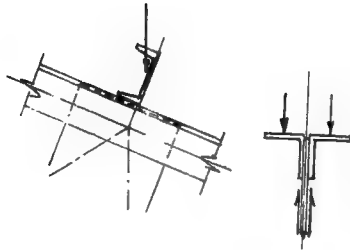
$$R_1 = D_1 \cos \theta_1 + D_2 \cos \theta_2 \quad (5-3a)$$

$$R_2 = L_2 - L_1 \quad (5-3b)$$

ويكون مجموع المسامير في عضوي الوتر المنفصل أكبر مما في الوتر المتصل إذا كانت للقيوتين L_1 و L_2 الإشارة نفسها ولكنهما يتساويان إذا اختلفت الإشارتان .

الفصل المحمل (Loaded joint):

تكون عقد الوتر العلوي محملة بالمدادات ، ولما كان حرف لوح التجميع يكون دائماً غاطساً عن سطح زاويتي الوتر (سواء الوتر العلوي أو السفلي) فإن الحمل من المادة ينتقل إلى لوح التجميع عن طريق زجلي الزاوية المربوطين فيه ، وبذلك تتعرض المسامير التي تربط الوتر بلوح التجميع إلى قوة إضافية مباشرة عبارة عن الحمل من المادة .



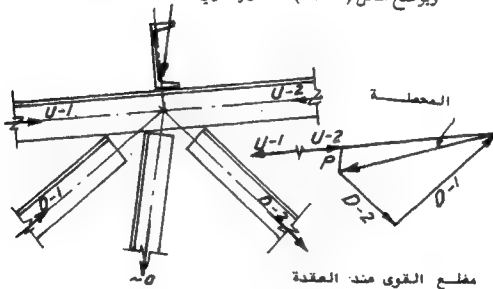
شكل (١١-٥)

وبذلك تحسب تلك المسامير على القوة الأكبر من :

أ - محصلة القوتين في الوترين + القوة الخارجية .

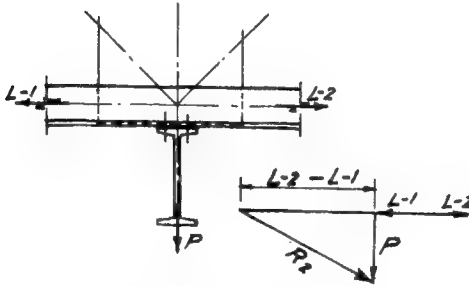
ب - محصلة القوتين (أو القوى) في أعضاء الجذع .

ويوضح شكل (١٢-٥) عقدة وتر علوي محملة .



شكل (١٢-٥) - عقدة وتر علوي محملة

كما قد يكون الوتر السفلي محملاً عند عقدة - عن طريق كمرة تحمل مرفاعاً وحيد القضيب مثلاً - حيث تربط الكمرة في الرجلين البارزين للزاويتين (شكل ٥ - ١٣) وبذلك ينتقل الحمل منهما إلى الرجلين المربوطتين ومنهما إلى لوح التجميع . وعلى ذلك تحسب المسامير على محصلة القوتين في الوترين والقوة الخارجية .



شكل (٥ - ١٣) - عقدة وتر سفلي محملة

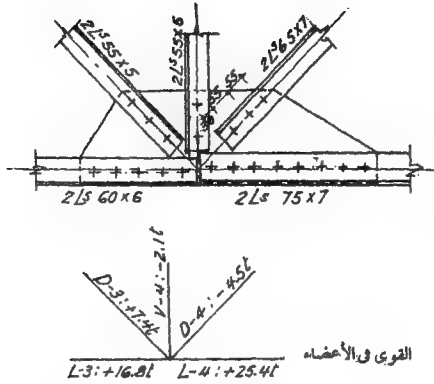
مثال (٥ - ١) - حساب أعضاء جمل ملتقية في وصلة سفلية وحساب المسامير اللازمة لربطها في لوح التجميع .

أولاً - مقطع الوتر غير مستمر (Discontinuous chord) - شكل (٥ - ١٤) :

البشاشيم : Rivets $d = 17 \text{ mm}$

لوح التجميع : Gusset pl. $t = 10 \text{ mm}$

مقاس أصغر زاوية لتناسب قطر البشاشم : $L 55 \times 55 \times 5$



شكل (١٤ - ٥)

يبيّن الجدول التالي (١ - ٥) المقاطع المختارة للأعضاء والجهود الفعلية مقابل الجهود المسموح بها :

جدول ١ - ٥

ملاحظات	الجهود (Kg/cm ²)		زاويتا المقطع	القوة (Kg)	المضرو
	المسموح به	الفعل			
الزيادة مسموح بها	1400	1423	60 × 60 × 6	+ 16 800	L-3
الزيادة مسموح بها	1400	1426	75 × 75 × 7	+ 25 400	L-4
أصغر مقياس للزاوية	1400	828	55 × 55 × 5	+ 7400	D-3
أصغر مقياس للزاوية	478	197	55 × 55 × 5	- 2100	V-4
	333	310	65 × 65 × 7	- 5400	D-4

· وحساب عدد المسامير :

مقاومة المسار :

$$R_{d.s} = 2 \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 980 = 1539 d^2 \text{ Kg}$$

$$R_b = t \times d \times 1960 = 1960 \text{ td Kg}$$

التحميل :

ويبين الجدول التالي (٥ - ٢) مقاومة المسار للتحميل على أسماك مختلفة

للوح التجميع :

جدول ٥ - ٢
مقارنة البراشيم

$R_b \text{ (Kg) - for } t =$			$R_{d.s.} \text{ (Kg)}$	$d \text{ mm}$
8 mm	10 mm	12 mm		
2200	2740	3290	3017	14
2670	3330	4000	4448	17
3140	3920	4700	6158	20

للمسار قطر ١٧ ولوح التجميع سمك ١٠ مم :

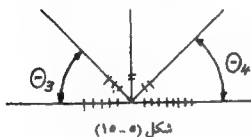
$$R_{least} = 3330 \text{ Kg}$$

يحسب عدد المسامير اللازمة لربط العضو في لوح التجميع - كما سبق بيانه - من واقع القوة الموجودة في العضو، لكن هناك رأياً آخر يقول إنه إذا كان المقطع المختار يتحمل أكثر من القوة الموجودة في العضو فإن الأفضل أن تصمم وصلته في لوح التجميع على أساس قدرة المقطع المختار ، وهذا هو المتبع في حساب وصلات أعضاء جالونات الجسور . وتنص المواصفات المصرية على حساب الوصلة على أساس أكبر القيمتين : القوة القصوى الفعلية أو ٥٠ ٪ من المقدرة القصوى للمقطع المختار للعضو . وإذا تعرض العضو لقوة ترددية

وجب حساب وصلته على المجموع العددي للقوتين مختلفتي الإشارة أي
جماً حسابياً :

$$S_{Design} = S_{max} + S_{min}$$

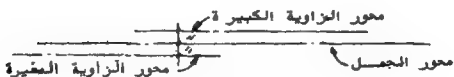
القوة التصميمية



ويبين (شكل ١٥-٥)
عدد المسامير اللازمة لوصل
كل عضو ، محسوباً على
أساس القوة الفعلية في
العضو .

ولعمل لوح التجميع يبدأ بالفطر (3-D) الذي به العدد الأكبر من
المسامير على أساس القيمة الدنيا لكل من المسافة الطرفية والخطوة ثم يجعل
ضلعه العلوي موزياً للسفلي ثم يوضع المساران في كل من القائم والفطر
(4-D) بحيث تكون الخطوة ما تبقى بعد المسافتين الطرفيتين . ثم يكمل لوح
التجميع كما في (شكل ١٤-٥) بحيث لا تزيد الخطوة على الحدود المنصوص
عليها في المواصفات

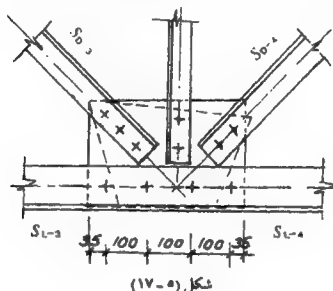
ملحوظة : عندما تختلف مقاسا عضوي الوتر لم يمد محاورهما على
استقامة واحدة ، حيث يجب أن يكون السطح السفلي للزاويتين البارزتين
مستقيماً . وفي هذه الحالة توضع الزاويتان بحيث ينصف محور الوتر السفلي
للجمل المسافة بين محوري الزاويتين :



شكل (١٦-٥)

وعلى العموم فإنه لا يستحب أن تتغير مقاطع أعضاء الوتر لتجنب حدوث عزم حني عند العقدة . وقد أوردنا هذا المثال لايضاح الفرق بين أن يكون الوتر منفصلاً وأن يكون مستمراً . كما سنوضح المتاعب الأخرى الناجمة عن انفصال الوتر ، وكذلك وسيلة التخلص من تلك المتاعب .

ثانياً - الوتر السفلي مستمر (Continuous chord) - شكل (١٧ - ٥) :



عدد المسامير اللازمة لربط الوتر في لوح التجميع :

$$R_1 = S_{L-4} - S_{L-3}$$

$$= 25400 - 16800 = 8600 \text{ Kg}$$

$$R_2 = S_{D-3} \cos \theta_3 + S_{D-4} \cos \theta_4$$

$$= 7400 \times 0.707 + 5400 \times 0.107 = \underline{9050 \text{ Kg}} \quad (\text{حرجة})$$

ويحون عدد المسامير اللازمة لربط الوتر في لوح التجميع :

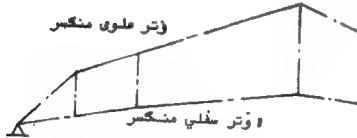
$$n = \frac{9050}{3330} = 3$$

إذا ربط الوتر السفلي بثلاثة مسامير كان شكل لوح التجميع بحسب الخطوط المقطعة شكل ٥ - ١٧ ولكن هذا الشكل يتسبب في إهدار مادة الألواح بالإضافة إلى ضعف مقطع لوح التجميع . ويمكن التخلص من هذا باستخدام الشكل المستطيل الذي يعطي مساحة أكبر للمقطع الخارج عند القطر (D-3) كما سيأتي الكلام عنه فيما بعد .

متى يكون الوتر منفصلاً :

الحالات الآتية يلزم فيها أن يفصل الوتر السفلي أو العلوي :

١ - عند انكسار الوتر :



شكل (٥ - ١٨)

٢ - إذا تغير المقطع - وقد أوضحنا أنه لا يستحب ذلك إذا كان الوتر مستقيماً . ولكن يكون ممكناً إذا انكسر الوتر .

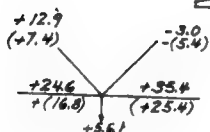
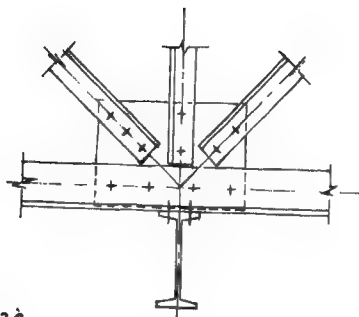
٣ - إذا زاد طول الوتر على الأطوال التي تنتج بها المقاطع . وتنتج الزوايا بأطوال ٦ - ٨ - ١٠ - ١٢ - متراً وأحياناً ١٤ متراً ويزداد الطول الذي تنتج به الزاوية كلما كبر مقطعيها . وعلى العموم فإن الأطوال (بل المقاطع أيضاً) التي يمكن الحصول عليها في السوق هي الحكم في ذلك .

٤ - إذا زاد طول الجمل وارتفاعه على المقاسات التي يمكن نقلها بالوسائل المتاحة . وقد زادت في السنين الأخيرة أطوال مقطورات سيارات النقل . ولكن زيادة طول الجمل تتبعها زيادة في ارتفاعه . وإذا كان الطول المنقول يحده طول وسائل النقل ، فإن ارتفاع المنقول يحده الخلوص المسموح به عند الجسور ولذلك فقد يكون لارتفاع الجمل تأثير على الطول الممكن نقله .

ثالثاً - المفصل المحمل (Loaded Joint) :

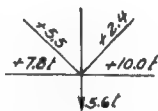
إذا كان لطبيعة سقف المنشأ أو ما قد يكون عليه من أحمال ما يستدعي استعمال كمرات أو مدادات في مستوى الوتر السفلي ، وكان ارتكاز هذه الكمرات على الرجلين البارزتين لزاويتي الوتر بحيث يتقل حمل المادة منها إلى لوح التجميع ، سميت هذه العقدة بالمفصل المحمل . وكذلك لو علقت كمره مرفاع من الرجلين البارزتين للوتر السفلي .

مثال (٥ - ٢) - لنأخذ المفصل السابق دراسته وقد علقت به كمره ونش (شكل ٥ - ١٩) تنقل إلى الجمل حملاً قدره ٥,٦ طن . وتزداد القوى في الأعضاء عند المفصل بالقيم الموضحة بالشكل (٢) . وتصبح القوى النهائية كما الموضحة بالشكل (ب) . وبسبب ازدياد القوة في الوتر تنضغط إلى استعمال براشيم قطر ٢٠ مم .

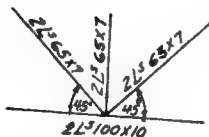


ب - القوى النهائية

(طن)



ج - القوى الناشئة من الوش



د - المقاطع المختارة



ه - عدد البرايم اللازمة

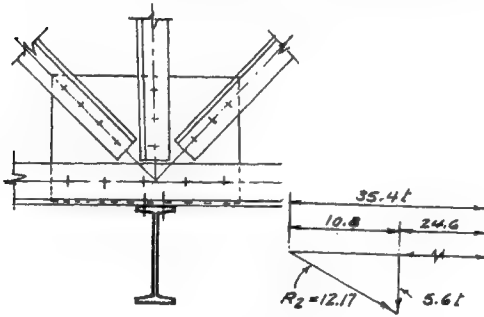
شكل (١٩ - ٥)

وتحسب البراشيم على أكبر القوتين :

$$R_2 = 12.9 \times 0.707 + 3.0 \times 0.707 = 11.24 \text{ t}$$

$$R_1 = \sqrt{(35.4 - 24.6)^2 + (5.6)^2} = 12.17 \text{ t} \quad (\text{حرجة})$$

ويلاحظ عند حساب المقطع للوتر (4 - L) أنه يوجد ثقب في كل من رجلي الزاويتين وأنه يجب خصم ما يفقد من مساحة الزاوية بسبب الثقب الثاني . ويوضح شكل (٥ - ٢٠) الشكل النهائي للمفصل .



شكل (٥ - ٢٠)

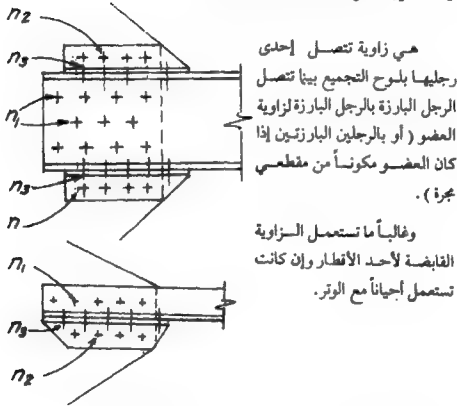
تقليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة :

إذا كان الطول الكلي للجمل الذي درسنا مفصله آنفا يساوي ٢٥,٠٠ متراً فإنه يلزم فصل الجمل . فإذا فصل الوتر عند ذلك المفصل ، فإنه يلزم لربط كل من عضوي الوتر في لوح التجميع عدد من البراشيم :

$$n = \frac{35\,400}{3\,920} = 9 \text{ rivets}$$

ولما كان هذا العدد يزيد على ٦ فمن اللازم دراسة وسيلة تقليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة . وهناك طريقتان لذلك نفصلهما فيما يلي :

أولاً - طريقة الزاوية القابضة (Lug angle) :



شكل (٧١-٥)

اختيار الزاوية القابضة :

إشارة إلى شكل ٧١-٥ :

١ - إذا كان عدد المسامير اللازمة لنقل القوة في العضو إلى لوح التجميع n

٢- فالمسامير n_1 تنقل بغض القوة مباشرة من العضو إلى لوح التجميع .

٣- باقي القوة ويلزمها عدد من المسامير $n_1 - n$ تنتقل من الرجل البارزة للعضو خلال المسامير n_3 إلى الرجل البارزة للزاوية القابضة ثم تنتقل من الرجل البارزة للزاوية القابضة إلى رجلها المربوطة ومنها إلى لوح التجميع خلال المسامير n_2 .

٤- وعلى هذا فإن المسامير n_2 تنقل بعض القوة من العضو إلى لوح التجميع بطريق غير مباشر ، ولذلك تعتبر فاعليتها أقل من فاعلية مسامير النقل المباشر . وبناء على ذلك نرى زيادة العدد المطلوب بمقدار الثلث أي أن :

$$n_2 = 1.3 (n - n_1)$$

٥- لكي تعمل المسامير n_3 يجب أولاً أن تصل الجهود في المسامير n_1 إلى حد الخضوع ، كذلك لكي تعمل المسامير n_2 يجب أولاً أن تصل الجهود في المسامير n_3 إلى حد الخضوع لذلك رؤي زيادة عدد المسامير n_3 عن عدد المسامير n_2 بمقدار ٢٥٪ .

$$n_3 = 1.25 n_2$$

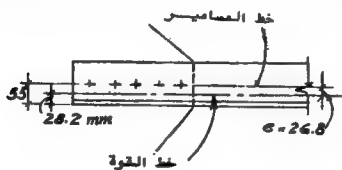
٦- نتجدر ملاحظة أن المسامير الأولى في المجموعة n_3 قد وضع سابقاً المسامير n_1 حتى يمكن نقل جزء من القوة إلى الزاوية القابضة عن طريق الرجل البارزة لزاوية العضو .

٧- يفضل أن يكون مقاس الزاوية القابضة أو على الأقل مقاس رجلها البارزة مساوياً لمقاس الرجل البارزة للعضو حتى لا يحدث اضطراب في خطوط المسامير .

٨- يلاحظ أن زاوية العضو أصبح بها مساران ، فإذا كان بالعضو قوة شد

وجب التحقق من أن الجهد على المقطع الصافي بعد خصم ما يفقد بسبب ثقبى الممارين لا يزيد على الجهد المسموح به.

٩- والآن لندرس حالة الوصلة ، وهل تغير عزق الحنسي المؤثر عليها:



فصل (۵-۷۷)

إشارة إلى شكل ٢٢-٥ ، نجد أن الوصلة العادية (أ) تتعرض لعزم حنى يساوي القوة في بُعد خط المسامير عن خط القوة في العضو (e) .

أما في الوصلة المزدوجة بزاوية قابضة كما في (ب) فإن القوة تنتقل إلى صفيين من المسامير، وتوزع القوة بينهما بنسبة عكسية لبعدهما عن خط القوة .
 فلذا وزعت المسامير في كل صف لظاوم القوة التي تؤثر عنده فإن الوصلة تتخلص من عزم الحني .

مثال (٥ - ٣) - ولناخذ لذلك مثلاً عضواً مكوناً من زاويتين

$100 \times 100 \times 10$ (شكل ٥ - ٢٢٢) .

$$A_{net} = 2 (19.2 - 2 \times 2.0 \times 1.0) = 30.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Capacity} = 30.4 \times 1400 = 42,560 \text{ Kg (مقدرة العضو)}$$

باستعمال براشيم قطر $d = 20 \text{ mm}$ وألواح تجميع سمك $t = 12 \text{ mm}$

$$R_{least} = R_b = 2.0 \times 1.2 \times 1960 = 4700 \text{ Kg تكون مقاومة المسار}$$

الحالة (أ) الوصلة العادية :

$$n = \frac{42550}{4770} = 9$$

عزم الحني على الوصلة :

$$M = 42560 \times 2.68 = 11400 \text{ Kg cm}$$

وسندرس فيما بعد تأثير هذا العزم على القوى المؤثرة على المسامير.

الحالة (ب) - الزاوية القابضة :

القوتان على خطى المسامير :

$$T_1 = \frac{42560 \times 8.32}{11.0} = 32190 \text{ kg} \quad n_1 = 7$$

$$T_2 = \frac{42560 \times 2.68}{11.0} = 10370 \text{ Kg} \quad n_2 = 3$$

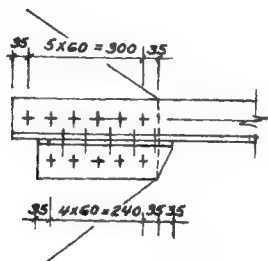
وعلى هذا يكون عدد المسامير في الوصلة الخالية من عزم الحني :

$$n_1 = 7$$

$$n_2 = 1.3 \times 3 = 4$$

$$n_3 = 1.25 \times 4 = 5$$

فإذا اعتبرنا أن العدد ٧ أكبر من المسموح به في خط واحد و جعلنا العدد ٦ ، فإن الوصلة تتعرض لعزم حثي صغير ويكون عدد المسامير كالاتي (شكل ٢٣-٥) .



شكل (٢٣-٥)

$$\begin{aligned} \frac{n}{n_1} &= 9 & \text{العدد الكلي للمسامير :} \\ n_1 &= 6 \\ n_2 &= 1.3 (9 - 6) = 4 \\ n_3 &= 1.25 \times 4 = 5 \end{aligned}$$

ثانياً - طريقة لأم الأعضاء (Splicing of members) :

تقديم - إذا قُصِّر طول مقطع عن الوفاء بالطول المطلوب للعضو لزم وصله بقطعة لها المقطع نفسه ، فهذه عملية لأم . وتستلزم عملية اللأم عنصرين أو مبدئين :

أ - مادة اللام . (Splice material) :

إذا قطع عضو أو عنصر من عضو لزم أن تنتقل القوة التي في الجزء المقطوع من أحد جانبي القطع إلى جانبه الآخر عبر مادة لام تضاف في مكان القطع تكون لها على الأقل مقدرة الجزء المقطوع نفسه . ولا يعني هذا بالضرورة أن تكون مقاسات مقطع اللامة هي مقاسات الجزء المقطوع .

وشروط تساوي قدرتي اللامة والجزء المقطوع هي الآتية :

١ - إذا كان العضو معرضاً لقوة محورية وجب أن تكون مساحة اللامة المضافة مساوية لمساحة المقطع المقطوع .

أ - في حالة عضو الشد :

مساحة اللامة الصافية = المساحة الصافية للمقطع المقطوع .

ب - في حالة عضو الضغط :

مساحة اللامة الكلية = المساحة الكلية للمقطع المقطوع .

٢ - إذا كان العضو معرضاً لعزم ^{توزيع} _{التي} حيث أهم خصائص المقطع هو عزم العطالة وجب - بالإضافة إلى تساوي المساحتين أن يكون :
عزم عطالة اللامة = عزم عطالة المقطع المقطوع .

ب - وسيلة نقل القوة . (Transmission of force) :



شكل (٥ - ٢٤)

تنتقل القوة من أحد جانبي العنصر المقطوع عبر اللامة إلى الجانب الآخر . ووسيلة نقل القوة إما أن تكون اللحام وإما أن تكون المسامير

(البراشيم أو البراغي) ولما كنا قد قررنا أن تكون مقدرة اللامة مساوية لمقدرة الجزء المقطوع وجب أن تكون مقدرة وسيلة نقل القوة معادلة لمقدرة الجزء المقطوع كما يجب أن تكون اللامة متائلة بالنسبة لموقع القطع ؛ لاحتواء كل جانب على وسيلة نقل القوة نفسها، ويكون :

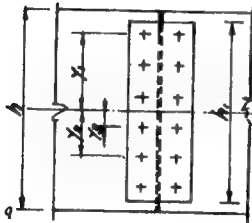
١ - عدد المسامير (أو أطوال اللحام)

$$= \frac{\text{مقدرة الجزء المقطوع (أو مقدرة اللامة) أحيما أكبر}}{\text{مقاومة المسامير الفردية}}$$

$$n = \frac{A \cdot f_0}{R_{tens}} \quad \text{أي:}$$

ملاحظة

٢ - عزم عطالة المسامير في كل من جانبي اللامة :



$$= \sum (A_0 \times y^2)$$

$$= \frac{t h^3}{12}$$

حيث (t) سمك اللوح
المقطوع (h) عمقه .

هذا بالإضافة إلى تساوي
عزم عطالة المقطع الأصلي وعزم
عطالة مقطع اللام ، أي أن :

شكل (٥ - ٢٠)

$$\frac{t_1 h^3}{12} = \frac{t_1 h^3}{12}$$

حيث t_1 و h_1 هي سمك لوح (أو لوح) اللام وعمقها
والأسمات نوعان :

١ - لأمة مفردة القص (Single-shear splice) :

حيث تضاف مادة اللام على وجه واحد من المادة المقطوعة وتكون مقاومة المسار في مقطع واحد منه ، أي مقاومة في قص مفرد (شكل ٥- ٢٦)

٢ - لأمة مزدوجة القص (Double-shear splice) :

حيث تضاف مادة اللام على كل من وجهي المادة المقطوعة وتكون مقاومة المسار في مقطعين منه ، أي مقاومة في قص مزدوج (شكل ٥ - ٢٦ ب) .



١- قص مفرد



ب - قص مزدوج

شكل (٥ - ٢٦)

مثال (٥ - ٤) - المطلوب تصميم لأمة لعضو شد مقطعه مستطيل مقاسه 200×12 باستعمال مسامير قطر ١٧ مم .

يتقبل هذا العضو ثلاثة مسامير في مسافة ٢٠ سم (شكل ٥ - ٢٧) .

مقاومة المسار قطر ١٧ مم : $R_{ss} = 2224 \text{ Kg}$ قص مفرد

$$R_b = 4000 \text{ Kg} \quad (t = 12)$$

$$R_{ds} = 4448 \text{ Kg} \quad \text{قص مزدوج}$$

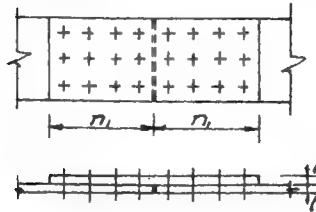
مقدرة اللوح (Capacity of plate) :

$$S = (20.0 - 3 \times 1.7) \times 1.2 \times 1400$$

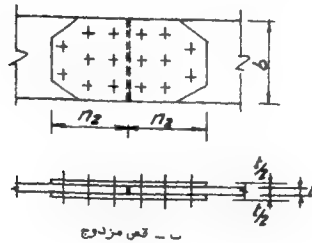
$$= 25032 \text{ Kg}$$

أ- وصلة قص مفرد (شكل أ):

	200×12	مقاس لوح الألم
R_{tenor}	$= 2224 \text{ Kg } (R_{s.s})$	مقاومة المسار
n_1	$= \frac{25\ 032}{2\ 224} = 12$	عدد المسامير



أ - قص مفرد



ب - قص مزدوج

شكل (٢٧-٥) لآلة مضو محوري التحميل

ب - وصلة قص مزدوج (شكل ب):

	200×6	مقاس كل من لوحي اللام
R_{least}	$= 4000 \text{ Kg } (R_b)$	مقاومة المسامير
n_2	$= \frac{25\ 032}{4.000} = 7$ (تؤخذ 8)	عدد المسامير

مثال (٥ - ٥) - المطلوب تصميم لامة لعضو الشد في المثال السابق
(ب) ، إذا كان عرض لوح اللام ١٣٠ مم .

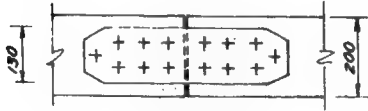
أ - مقاس كل من لوحي اللام:

المساحة الصافية للعضو المقطوع = المساحة الصافية لمادة اللام

$$A_{net\ of\ splice\ material} = A_{net\ of\ cut\ member}$$

$$2(13.0 - 2 \times 1.7) \times t' = (20.0 - 2 \times 1.7) \times 1.2$$

$$t' = 11 \text{ mm.}$$



شكل (٥ - ٢٨)

∴ مقاس اللوح: 130×11

(مساحة مادة اللام = ٢٨ سم²، مساحة المقطع الأصلي = ٢٤ سم²)

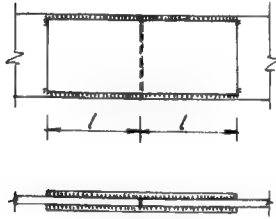
عرض لوح اللام لا يتسع إلا لمسامير:

$$n_2 = \frac{25\ 032}{4000} = 7$$

ب - عدد المسامير:

مثال (٥ - ٦) - المطلوب لأم عضو شد مقطعه مستطيل مقاسه ٢٠٠
١٢x باستعمال اللحام .

يلزم أن يكون عرض لوح اللام أقل من عرض العضو ليتسع لشريط
اللحام . ولنقل إنه ينقص ١٠مم من كل جانب .
المساحة المستعملة هنا هي المساحة الكلية :



شكل (٥ - ٢٩)

مقاس لوحى اللام (شكل ٥ - ٢٩) :

$$20.0 \times 1.2 = 2 (18.0 \times t')$$

$$t' = 7 \text{ mm}$$

$$S = 20.0 \times 1.2 \times 1400$$

$$= 33600 \text{ Kg}$$

$$s = 6 \text{ mm}$$

القوة التي يتحملها العضو

إذا استعملنا لحاماً مقاسه

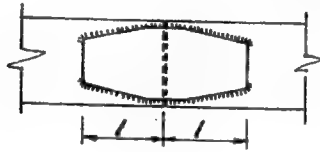
مقدرة اللحام (٤ شرائط في كل جانب من القطع) :

$$4 \times l \times s \times 0.4 f_{yt} = S$$

$$4 \times l \times 0.6 \times 0.4 \times 1400 = 33\,600$$

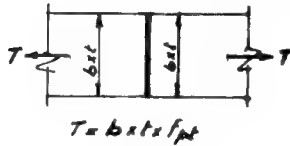
$$l = 25.0 \text{ cm}$$

والآن : تنتقل القوة من العضو خلال شرائط اللحام من أول الوصلة حتى تصل أقصاها عند مكان القطع أي أن القوة في لוחي اللام لا تحتاج لكامل المقطع في كل طولها ، بل يكفي أن تبدأ من الصفر، ولذلك يُشطف لوحا اللام كما في شكل (٥ - ٢٩ ب) . ولا يقصد بهذا التوفير في المادة ولكن من وجهة توزيع الجهود في المقاطع يستحسن أن يكون التغير في مقطع اللامة تدريجياً وليس فجائياً حتى لا يحدث تركيز في الجهود .



شكل (٥ - ٢٩) ب

ب - اللحام التقابل (لحام النهايات) :

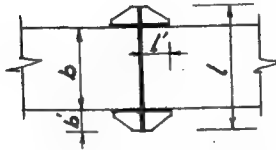


شكل (٥ - ٣٠)

يكون مقطع هذا النوع من اللحام مساوياً لمقطع العضو المقطوع ،
ولكن المشكلة في أن هذا النوع من اللحام لا يتحمل في الشد سوى ٧٠٪ من
جهد الشد في المعدن الأصلي وبذلك تنقص مقدرة العضو إلى ٧٠٪ من قدرته
حيث أن قدرة أي عضو هي قدرة أضعف مقطع فيه .

ولعالجة هذا الضعف نتبع إحدى طريقتين :

وصلة أ - إضافة جناحين :



شكل (٥-٣١)

طول اللحام المطلوب عمودياً على اتجاه القوة :

$$b \times t \times f_{wt} = l \times t \times 0.7 f_{wt}$$

$$l = 1.5 b$$

ويلحم كل جناح بأحد جانبي اللوح ، وحيث أن هذا اللحام في اتجاه القوة فهو
يعمل في مقاومة القص . ولما كان القص المسموح به في اللحام التقابلي هو
 $0.55 f_{wt}$ فيكون الطول المطلوب للحام الجناح :

$$b' = \frac{l - b}{2} = \frac{0.7 f_{wt}}{0.55 f_{wt}}$$

$$= 1.27 \left(\frac{l - b}{2} \right)$$

مثال (٧-٥) - في المثال (٦-٥) :
طول اللحام المطلوب عمودياً على اتجاه القوة :

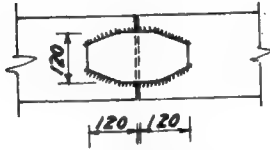
$$l = \frac{20.0}{0.7} = 28.6 \text{ cm}$$

taken 30.0 cm

$$b' = \frac{30.0 - 20.0}{2} = 5.0 \text{ cm} \text{ فيكون عرض الجناح}$$

$$l' = \frac{5.0 \times 0.7}{0.55} = 6.5 \text{ cm} \text{ ويكون طول الجناح}$$

وصلة ب - إضافة لوحى لأم :



شكل (٥-٣١) .

ويلحم اللوحان لحاماً زاوياً ، وبذلك يجتمع في وصلة واحدة لحامان
فتصبح الجهود المسموح بها هي تلك المسموح بها في اللحام الزاوي أي $0.4f_0$
مثال (٨-٥) - في المثال (٦-٥) :

$$S = 20.0 \times 1.2 \times 1400 = 33\,600 \text{ Kg} \text{ مقدرة العضو :}$$

$$S_1 = 20.0 \times 1.2 \times 0.4 \times 1400 = 13\,440 \text{ Kg} \text{ مقدرة اللحام التقابلي :}$$

$$S_2 = 33\,600 - 13\,440 = 20\,160 \text{ Kg} \text{ القوة في لوحى اللام :}$$

$$A = \frac{20\,160}{2 \times 1400} = 7.2 \text{ cm}^2 \text{ المساحة المطلوبة للوح :}$$

يستعمل لوحان: 120×6

طول اللحام (مقاس ٤ مم وهو أدنى مقاس مسموح به في اللحام الزاوي):

$$4 \times l \times 0.4 \times 0.4 \times 1400 = 10\,080$$

$$l = 12.0 \text{ cm}$$

فيكون مقاس كل من لوجي اللام: $120 \times 6 \times 260$

مثال (٥ - ٩) - المطلوب تصميم لامة لعضو شد مقطعه زاوية $80 \times 80 \times 8$ (قطر المسار ١٧ مم) .

يمكن عمل هذه اللامة بثلاث طرق :

أ - لوحا لام من الخارج :

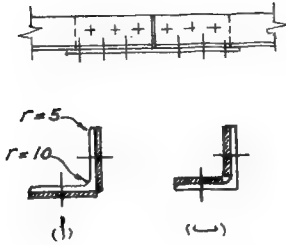
وفي هذه الحالة يكون مقاس كل لوح (دون حاجة إلى حساب) 80×80 وفيهما زيادة طفيفة في المساحة . فإذا كانت هناك خشية أن يبرز أحد اللوحين أو كلاهما عند ركن الزاوية فيمكن عمل مقاس اللوح 8×78 مثلاً . ولحساب عدد المسامير تحسب مقدرة الزاوية ، على اعتبار أن بالمقطع ثقبين لمسارين . ولو أن المسامير تكون مترنحة ، إلا أنه بسبب قرب المسامير يكون المقطع الخارج هو المقطع المخصص منه ثقباً لمسارين .

$$\begin{aligned} \text{مقدرة الزاوية:} \quad S &= (12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) \times 1400 \\ &= 13\,412 \text{ Kg} \end{aligned}$$

عدد المسامير ذات القصد المفرد اللازمة للام الزاوية:

$$n = \frac{13412}{2224} = 6$$

في كل رجل ثلاثة مسامير على كل من جانبي القطع . شكل (٥ - ٣٢)



شكل (٥-٣٢)

ب - لوحا لام من الداخل :

يبدأ قياس عرض اللوح بعد استدارة ركن الزاوية ، ويفضل أن ينتهي عند نهاية استدارة طرف الرجل وبذلك يكون عرض اللوح :

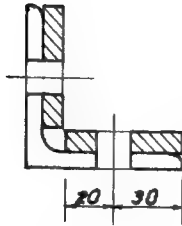
$$\begin{aligned} b' &= a - (t + r_1 + r_2) \\ &= 8.0 - (0.8 + 1.0 + 0.5) \\ &= 5.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

وهذه يلزم زيادتها إلى 6.0 cm ، ضعف المساحة الطرفية الدنيا :

$$2 \times 1.75 d = 5.95 \text{ cm}$$

بمساواة المساحة الصافية لكل من الرجل ولوح اللام :

$$\begin{aligned} \frac{12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8}{2} &= (6 - 1.7) \times t' \\ \therefore t &= 1.1 \text{ cm} \end{aligned}$$



شكل (٣٣ - ٥)

وبذلك يكون مقياس كل من لوحى
اللام 11×60 وهنا سيكون خط
المسامير في الزاوية في غير موقعه
المعتاد .

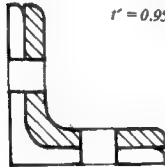
أما عدد المسامير فهو مساو للحالة
الأولى أي ثلاثة مسامير في كل رجل
على كل من جانبي القطع .

ج - زاوية لام داخلية :

نختار لذلك زاوية أكبر مقياساً لتكون أسماك حيث يفضل ألا تبرز زاوية
اللام عن الزاوية الأصلية .

بمسواة المساحة الصافية لكل من الزاويتين :

$$\begin{aligned} (12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) &= (7.2 - 1.7) t' + (7.2 - t' - 1.7) t - 9.58 \\ &= (t')^2 - 11.0 t' \\ t' &= 0.95 \text{ cm} \end{aligned}$$



شكل (٣٤ - ٥)

ولتعويض الفاقد من الزاوية بسبب برد ركنها نأخذ $t' = 10$

وعلى هذا تستعمل زاوية 100×10 بعد قص رجليها ليصبح عرض
كل منها ٧٢ مم . أما عدد المسامير فهو أيضاً مساو للحالة الأولى ، أي ست
مسامير في كل زاوية لام على كل من جانبي القطع .

مثال (٥ - ١٠) - لآم زاويتين متظاهرتين :

المطلوب تصميم لآمة لعضو شد مكون من زاويتين متظاهرتين
 $80 \times 80 \times 8$ (قطر المسبار ١٧ مم وسمك لوح التجميع ١٠ مم).

أولاً - القطع عند لوح التجميع :

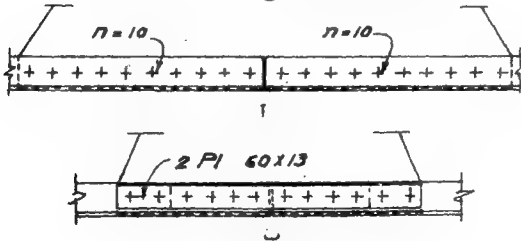
في هذه الحالة يعمل لوح التجميع بصفة لوح لآم ، بل أن المعتاد هو نقل كل القوة التي بالعضو إلى لوح التجميع . إلا أنه إذا زاد عدد المسامير في اتجاه خط القوة على سبعة ، وجب نقل بعض القوة من أحد جانبي القطع إلى الجانب الآخر بواسطة لوح لآم وفي هذه الحالة لا يمر ذلك البعض من القوة بلوح التجميع .

$$S = 2 (12.3 - 1.7 \times 0.8) \times 1400 = 30\,600 \text{ Kg}$$

عدد المسامير اللازمة لنقل القوة إلى لوح التجميع :

$$n = \frac{30\,600}{3\,330} = 10 > 7$$

وعمل هذا يجب عمل لآمة للعضو عند لوح التجميع . فإذا رأينا أن
 نكتفي في وصلة العضو بلوح التجميع بستة مسامير :



شكل (٥ - ٣٥)

الحالة الأولى :

إذا استعملنا لوحى لآم على الرجلين المربوطتين :

$$S_1 = 6 \times 3330 = 20,000 \text{ Kg} \quad \text{مقاومة ٦ مسامير قص مزدوج}$$

$$S_2 = 30,600 - 20,000 = 10,600 \text{ Kg} \quad \text{القوة المطلوب نقلها خلال اللوحين}$$

$$Req. A_{net} = \frac{10\,600}{1400} = 7.57 \text{ cm}^2 \quad \text{المساحة الصافية للوحى اللآم}$$

إذا كان عرض اللوح ٦ سم يكون سمكه :

$$\frac{7.57}{2} = (6.0 - 1.7) \times t$$

$$t = 9 \text{ mm}$$

ويشغل لوح اللآم ٤ مسامير في كل من جانبي القطع وبذلك يوجد في الوصلة ٤ مسامير تعمل في ٤ مستويات قص ومساران يعملان في قص مزدوج (شكل ٥ - ٣٥ ب) .

التدقيق :

مقاومة المسار العامل في ٤ مستويات قص :

$$R_{4s} = 4 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 980 = 8898 \text{ Kg}$$

$$R_b = 1.7 \times 1.6 \times 1960 = 5340 \text{ Kg}$$

ملحوظة : التحميل إما على سمكي رجلتي الزاويتين أي ١٦ مم

أو على مجموع أسماك لوح التجميع ولوحى اللآم أي ٢٨ مم .

$$S_1 = 4 \times 5340 = 21,360 \text{ Kg} \quad \text{مقاومة المسامير في ٤ مستويات :}$$

$$S_2 = 2 \times 3330 = 6,660 \text{ Kg} \quad \text{مقاومة مسارين في قص مزدوج :}$$

وتكون مقاومة الوصلة :

$$S = S_1 + S_2 = 28,020 \text{ Kg} < 30,600 \text{ Kg} \quad N.G.$$

وعلى ذلك يمتد لوح اللام ليشتغل المسامير الستة في كل من جانبي القطع ، وبالتالي تكون مقاومة الوصلة :

مقاومة ٦ مسامير في ٤ مستويات :

$$S = 6 \times 5340 = 32,040 \text{ Kg} > 30,600 \text{ Kg} \quad O.K.$$

في هذه الحالة يجب نقل نصف القوة خلال لוחي اللام :

$$Reqd A_{net} = \frac{15.300}{1400} = 10.93 \text{ cm}^2$$

$$\frac{10.93}{2} = (6.0 - 1.7) t$$

$$t = 1.3 \text{ mm}$$

ويكون مقياس كل من لוחي اللام 60×13

الحالة الثانية :

إذا استعملنا لوح لأم على الرجلين البارزتين (شكل ٥ - ٣٦) .

في هذه الحالة سوف تحتوي كل رجل على مسارين في المقطع وبذلك تنقص مقدرة العضو فتصبح :



شكل (٥ - ٣٦)

$$S = 2 (12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) \times 1400 = 26,800 \text{ Kg}$$

$$\Delta S = 30,600 - 26,800 = 3800 \text{ Kg} \quad \text{أي تنقص}$$

إذا اكتفينا بخمسة مسامير في وصلة العضو بلوح التجميع تكون :

$$S_1 = 5 \times 3330 = 16,650 \text{ Kg} \quad \text{مقدرة ٥ مسامير (قص مزدوج)}$$

القوة المطلوب نقلها خلال لوح اللام :

$$S_2 = 26\,800 - 16\,650 = 10\,150 \text{ Kg}$$

$$\text{Req. } A_{arr} = \frac{10\,150}{1400} = 7.25 \text{ cm}^2$$

عرض لوح اللام = عرض العضو + نحو ١٠ مم
 = عرض رجلي زاويتين + سمك لوح التجميع + ١٠ مم

$$b' = 2 \times 8.0 + 1.0 + 1.0 = 18.0 \text{ cm}$$

$$t' = \frac{7.25}{18.0 - 2 \times 1.7} = 0.5 \text{ cm} \quad \text{سمك لوح اللام}$$

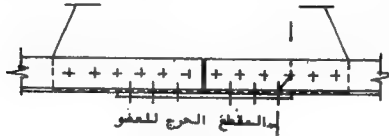
عدد مسامير القص المفرد اللازمة لنقل القوة إلى لوح اللام ثم منه :

$$n = \frac{10\,150}{1666} = 6 \quad (R_b < R_{so})$$

(يجب أن يكون العدد زوجياً).

تعقيب :

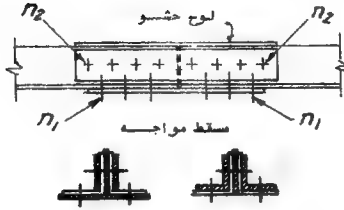
إذا زيد عدد المسامير في وصلة العضو بلوح التجميع إلى ستة كما في شكل (٣٧-٥)، فإن مسارين من المسامير بين العضو ولوح التجميع تسبق المسامير



شكل (٣٧-٥)

بين العضو ولوح اللام ، بمعنى أن جزءاً من القوة يساري مقدرة مسارين ينتقل إلى لوح التجميع قبل المقطع الحرج ، وبذلك تكون القوة عند المقطع الحرج أقل من القوة في العضو . أي أن مقدرة العضو لا تنقص بوجود تقارب في كلا الرجلين .

ثانياً - القطع فيما بين عقدتين :



مقطع (ب) مرادف مقطع (ا)

شكل (٥ - ٣٨)

يجب أن تُلَام كل من رجلي الزاوية فإذا استعمل لذلك لوح لَام كما في المقطع (أ) أو زاوية لَام كما في المقطع (ب) لزم شغل المسافة بين الزاويتين بلوح خشو . ويستفاد من هذا اللوح ضمن المادة اللازمة لعمل اللامة :

أ - باستعمال لوح لَام يمكن الاستغناء عن اللوحين على الرجلين المربوطتين ويستبدل بهما لوح الخشو ، مع زيادة عرضه لاستكمال المساحة المطلوبة . وتُلَام الرجلان البارزتان بلوح واحد .

ب - باستعمال زاويتي لَام ، يمكن تقليل مساحتهما حيث يعمل معها لوح الخشو ، لكن تجدر الإشارة إلى أن الاستفادة من لوح الخشولن تكون كاملة إذ ينتقل جزء من القوة من الرجلين البارزتين إلى لوح الخشو بطريقة غير مباشرة .

أما مسامير الوصلة فهي تعمل بطريقتين :

- المسامير في الرجلين المربوطتين ، وتعمل في قص مزدوج في حالة استعمال لوح الخشوفقط وتعمل في ٤ مستويات قص في حالة استعمال زاويتي لَام .

- المسامير في الرجلين البارزتين ، وهي تعمل في قص مفرد .

ولا مفر في هذه الحالة من خصم الثقوب الناشئة عن المسامير من كل من رجلتي الزاويتين ، ولذلك يجب التأكد من أن الجهد في المقطع لن يزيد على الجهد المسموح به .

مثال (٥ = ١١) - المطلوب لأم الزاويتين المتظاهرتين $80 \times 80 \times 8$ من المثال السابق ، بعيداً عن العقدة ؛ أولاً بالواح لأم وثانياً بزاويتي لأم .

الحالة الأولى - باستعمال ألواح اللام :

أ - لوح اللام على الرجلين البارزتين :

مساحة الرجلين الصافية = مساحة لوح اللام الصافية

$$2 (8.0 - 1.7) \times 0.8 = (18.0 - 2 \times 17) \times t'$$

$$t' = \frac{10.08}{14.6} = 0.7 \text{ cm}$$

$$S_1 = 10.08 \times 1400 = 14 \ 110 \text{ Kg}$$

القوة اللازم نقلها :

عدد المسامير ذات القص المفرد :

$$n_1 = \frac{14.110}{2224} = 7 \quad (\text{taken } 8)$$

ب - لوح الحشو الذي يُستخدم لوح لأم للرجلين المربوطتين :

مساحة الرجلين المربوطتين الصافية = مساحة لوح اللام الصافية :

$$2 (8.0 - 0.8 - 1.7) \times 0.8 = 8.8 \text{ cm}^2$$

$$= (b' - 2 \times 1.7) \times 1.0$$

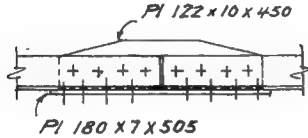
$$b' = 12.2 \text{ cm} \quad \therefore \text{ عرض لوح الحشو}$$

عدد المسامير ذات القص المزدوج :

$$n_2 = \frac{8.8 \times 1400}{3330} = 4$$

وهنا نشير إلى نقطتين :

أ- يبرز لوح الحشو نحو ٧، ٤ مم عن أعلا الزاويتين . ولما كانت القوة تنتقل إلى اللوح بالتدريج فإن المقطع الكامل للوح لا يُطلب إلا عند آخر مسمار أي عند مكان القطع حيث تكون القوة بأكملها قد انتقلت إلى اللوح . وربما كان الأفضل من جهة المنظر أن يشطف اللوح قرب طرفيه كما في شكل (٣٩-٥) .



شكل (٣٩-٥)

ii- يكون منظر الزاويتين ، وقد ظهر فيها القطع ، غير مرغوب فيه ، لذلك يُفضل تغطية القطع . ويستتبع هذا تعديلاً في اللامة :

مقاس لوح التغطية : $b = 6.0 \text{ cm}$

$t = 5 \text{ mm (min)}$

مقاس لوح الحشو : 75×10

المساحة الصافية للوواح اللام :

$$A_{net} = 2 (6.0 - 1.7) \times 0.5 + (7.5 - 1.7) \times 1.0$$

$$= 10.1 \text{ cm}^2 > 8.8 \text{ cm}^2 \quad O.K.$$

المسامير هنا تعمل في ٤ مستويات قص (المقاومة للتحميل على مسكتي
لزائيتين تساوي 5340 kg)

$$n_2 = \frac{8.8 \times 1400}{5340} = 3$$

الحالة الثانية - اللام بزائيتين (مع وجود حشو) :

تنتقل القوة من رجلي زائيتي العضو المربوطتين خلال رجلي زائيتي
اللام الملاصقتين وخلال لوح الحشو بينهما . وتنتقل القوة من رجلي زائيتي
العضو البارزتين خلال رجلي زائيتي اللام الملاصقتين . وتطبيقاً لبداً مساواة



شكل (٥ - ٤٠)

مساحة مادة اللام بمساحة مقطع العضو تكون
مساحة زائيتي اللام مساوية للفرق بين مساحة
مقطع العضو ومساحة الحشو وحل ذلك فلا تنتقل
كل القوة في رجلي زائيتي العضو البارزتين خلال
رجلي زائيتي اللام البارزتين بل تنتقل مقدرة هاتين

الرجلين فقط ، وما تبقى ينتقل إلى رجلي زائيتي اللام المربوطتين . ولما كانت
هاتان الرجلان مشغولتين بالقوة المنقولة إليهما من رجلي زائيتي العضو
المربوطتين فلا بد من انتقال تلك القوة المتبقية ، بالإضافة إلى ما لا تنقله رجلا
زائيتي اللام المربوطتين من رجلي زائيتي العضو المربوطتين ، لا بد من انتقال
هاتين القوتين إلى لوح الحشو . وهذا الانتقال إنما هو انتقال غير مباشر ، ولا
يكون للمسامير قدرتها نفسها على النقل المباشر ، وبذلك يزداد عددها ٢٠٪
لانتقال القوة إلى لوح اللام خلال مسك آخر (كنص المواصفات) . ولايضاح
ذلك نحل المثال السابق :

مثال (٥ - ١٢) - في المثال (٥ - ١١) :

المساحة الصافية لزائيتي اللام = المساحة الصافية لزائيتي المقطع -
المساحة الصافية للوح الحشو .

المساحة الصافية لزائيتي اللام :

$$Req A_{net} = 2 (12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) - (7.5 - 1.7) \times 1.0$$

$$= 19.16 - 5.8$$

$$= 13.36 \text{ cm}^2$$

$$A_0 = \frac{13.36}{0.70} = 19.1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try } 2L^* 70 \times 70 \times 7, A_0 = 2 \times 9.4 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = 2 (9.4 - 2 \times 1.7 \times 0.7) = 14.04 \text{ cm}^2 \quad O.K.$$

أ - لآم الرجلين البارزتين :

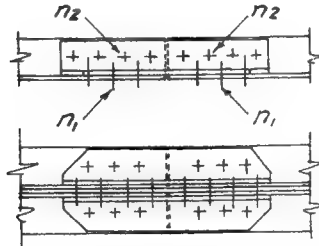
القوة التي يمكن أن تنقلها رجلا زاويتي اللآم البارزتان :

$$S' = 2 (7.0 - 1.7) \times 0.7 \times 1400$$

$$= 7.42 \times 1400 = 10390 \text{ Kg}$$

عدد مسامير القص المفرد اللازمة لنقلها :

$$n_1 = \frac{10390}{2224} = 5 \quad (\text{taken } 7)$$



شكل (٥-٤١) - لآمة براويتين

القوة فيرجلي زاويتي العضو البارزتين :

$$S_1 = 2 (8.0 - 0.8 - 1.7) \times 0.8 \times 1400$$

$$= 8.8 \times 1400 = 12\,320\, Kg$$

القوة المطلوب نقلها إلىرجلي زاويتي اللام المربوطتين ثم إلى لوح

الحشو :

$$S_3 = 12\,320 - 10\,390 = 1930\, Kg$$

القوة فيرجلي زاويتي العضو المربوطتين :

$$S_2 = 2 (8.0 - 1.7) \times 0.8 \times 1400$$

$$= 10.08 \times 1400 = 14\,110\, Kg$$

القوة التي يمكن أن تنقلها رجلا زاويتي اللام المربوطتان :

$$S_4' = 2 (7.0 - 0.7 - 1.7) \times 0.7 \times 1400$$

$$= 6.44 \times 1400 = 9010\, Kg$$

القوة المطلوب نقلها إلى لوح الحشو :

$$S_4 = 14\,110 - 9010 = 5100\, Kg$$

مجموع القوى المطلوب نقلها إلى لوح الحشو :

$$S_3 = 1.2 (1930 + 5100) = 7240\, Kg$$

(1.2) لأجل تعويض النقص في مقدرة المسامير على النقل غير المباشر)

مجموع القوى المطلوب نقلها خلال الحشو ورجلي زاويتي اللام المربوطتين :

$$S_5 = 14\,110 + 7240 = 21\,350\, Kg$$

المسامير اللازمة لنقل هذه القوة تعمل في 4 مستويات قص :

$$n_2 = \frac{21350}{5340} = 4$$

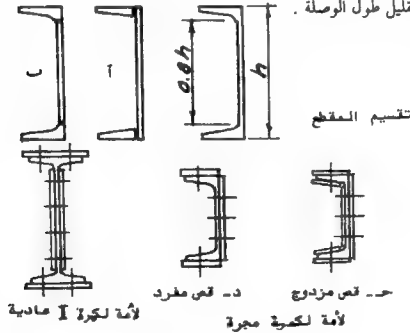
لأم الأعضاء الأخرى :

أولاً - الأعضاء المحملة محورياً :

يُلام عضو مقطوع مكوّن من أي مقطع بتقسيم المقطع إلى أجزاء مستطيلة ولأم كل منها بمقطع مستطيل مناسب كما في شكل (٥ - ٤٢) .

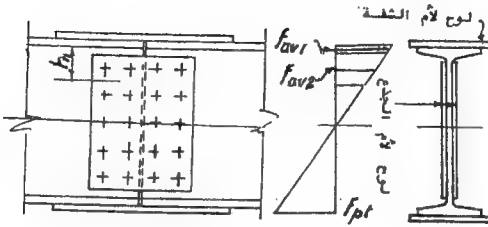
ويترك للمصمم تحديد عرض الجزء المشترك بين جذع المقطع وشفته وهل يعتبر ضمن الجذع كما في الشكل (أ) أو ضمن الشفة كما في الشكل (ب) . وإذا لم توجد بيانات فإن ارتفاع جذع مقطع المجرة وكذلك الكمرات من الداخل فيما بين الاستدارتين يمكن اعتباره ٨٠٪ من عمق المقطع .

ويلاحظ استعمال الوصلة ذات القص المزدوج طالما كان ذلك ممكناً ، وذلك لتقليل طول الوصلة .



شكل (٥ - ٤٢)

ثانياً - الأعضاء المعرضة لعزم حتمي :



شكل (٥ - ٤٣)

٢ - مادة اللام :

من أجل لام الشفتين يستعمل لوح على كل شفة مساحته الصافية تساوي مساحة الشفة الصافية . وفي هذه الحالة تعمل المسامير في قص مفرد . ويمكن استعمال لوح خارجي ولوحان من الداخل على كل شفة وحينئذ تعمل المسامير في قص مزدوج شكل (٥ - ٤٢ ح) . ومن أجل لام الجذع يستعمل لوحان مجموع مساحتهما الصافية تساوي مساحة الجذع الصافية ، مع مراعاة الحد الأدنى لسلك اللوح وهو ٥ مم وأن ارتفاع اللوح يساوي نحو ٨ ، ٠ عمق المقطع .

هذا ويجب التحقق من أن عزم عطالة مادة اللام لا يقل عن عزم عطالة المقطع المقطوع ، والمتوقع أن اختيار مادة اللام بالطريقة السابقة يفي بهذا الشرط .

ب - المسامير :

١ - لام الشفة - يفترض هنا أن الجهد في كامل مقطع الشفة هو الجهد المسموح به في الضغط أو في الشد ، وعلى هذا الأساس يحسب عدد المسامير سواء في قص مفرد أو قص مزدوج .

٢ - لام الجذع - نظراً لأن الجذع يقاوم قوة القص بالإضافة إلى عزم الحني فإن المسامير هنا تتعرض لقوى رأسية عبارة عن نصيب كل مسبار من قوة القص التي توزع على المسامير بالتساوي فإذا كان عدد المسامير في لامة الجذع n فإن القوة الرأسية :

$$V = \frac{Q}{n}$$

كما تتعرض المسامير لقوى أفقية ناشئة عن تأثير عزم الحني ، وتناسب القوة في مسبار ما بنسبة بُعده عن محور المقطع . ففي شكل (٥ - ٤٣) يتحمل المساران المتطرفان القوة التي يمثلها ذلك الجزء من بياني الجهد في المسافة h_1 التي يشغلها المساران ، أي :

$$H = \frac{1}{2} f_{av} \times (h_1 - d) \times t_w$$

حيث t_w = سمك الجذع .

مثال (٥ - ١٣) - المطلوب لام مقطع لكمر من S.I.B. 500 باستعمال مسامير قطر ٢٠ مم ، وفيه :

الشفة : 185×27 flange

الجذع : 446×18 web

عزم عطالة المقطع : $I_x = 68\ 740\ cm^4$

أولاً - مادة اللام :

١ - الشفة - إذا كان عرض اللوح ٢٠ سم ، بمساواة المساحتين الصافيتين :

$$(18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 = (20.0 - 2 \times 2.0) \times t$$

$$t' = 2.5\ cm$$

سمك لوح اللام :

نأخذ لوحاً واحداً : $Pl. 200 \times 25$

٢ - الجذع : $(44.6 - 6 \times 2.0) \times 1.5 = (40.0 - 6 \times 2.0) \times 1.5$

$t' = 2.1 \text{ cm}$

سمك لוחي اللام

$2Pl 400 \times 11$

نأخذ لوحين :

عزم عطالة مادة اللام :

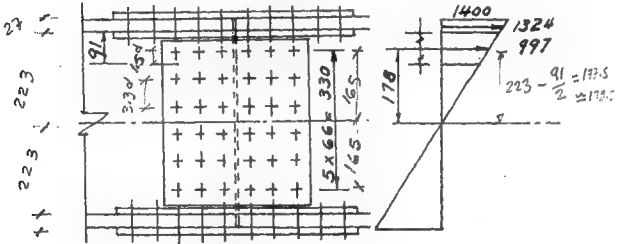
$$I_{so} = 2 \left\{ \frac{20.0 \times 2.5^3}{12} + 20.0 \times 2.5 \times (25.0 + 1.25)^2 \right\}$$

$$+ 2 \times \frac{1.1 \times 40.0^3}{12}$$

$$\approx 2 (26 + 34453) + 11733$$

$$\approx 80691 \text{ cm}^4 > 68740 \text{ cm}^4$$

O.K.



شكل (٤٤-٥)

وسبب الزيادة الكبيرة في عزم العطالة هو ابتعاد لוחي لام الشفتين عن المحور المحايد . ولا نحصل على مثل هذه الزيادة إذا استعملنا لוחي لام للشفة (في الواقع ثلاثة ألواح) . وقد يقتضي الأمر زيادة مساحة هذين اللوحين عن مساحة الشفة لتعويض النقص في عزم عطالة لוחي لام الجذع ، حيث أنها أقل عمقاً من لوح الجذع .

ثانياً - المسامير :

١ - مسامير الشفة ذات القص المفرد

القوة المطلوب نقلها :

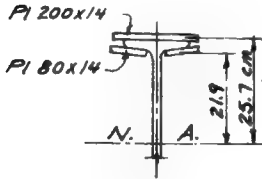
$$S = (18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 \times 1324 = 54.810 \text{ Kg}$$

عدد المسامير ذات القص المفرد

$$n = \frac{54810}{3079} = 18$$

والعدد نسة في صف واحد غير مقبول ولذلك

يجب عمل لامة ذات فص مزدوج (شكل ٤٥ - ٥)



شكل (٤٥ - ٥)

$$(18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 = (20.0 - 2 \times 2.0) \times t' + 2(8.0 - 2.0) \times t'$$

$$t' = 1.4 \text{ cm}$$

تدقيق عزم العطالة :

$$I_{sp} = 2 \left\{ 20.0 \times 1.4 \times 25.7^3 + 16.0 \times 1.4 \times 21.9^3 \right\}$$

$$+ 2 \times \frac{1.1 \times 40.0^3}{12}$$

$$= 70\,207 \text{ cm}^4 > 68\,740 \text{ cm}^4 \quad \text{O.K.}$$

عدد المسامير ذات القص المزدوج :

$$R_{du} = 2 \times \frac{\pi \times 2^2}{4} \times 980 = \frac{6158}{6158} Kg \quad (R_{tens})$$

$$R_b = 2.0 \times 2.7 \times 1960 = 10534 Kg$$

$$n = \frac{54,810}{6158} = 9, \text{ (ولكن } 10)$$

٢ - مسامير الجذع :

تقاوم المسامير الثلاثة الأكثر بعداً عن المحور المحايد القوة في مسافة

91mm من عمق الجذع :

$$f_{av} = 1400 \times \frac{178}{250} = 997 Kg/cm^2 \quad \text{الجهد المتوسط}$$

$$S = (9.1 - 2.0) \times 1.8 \times 997 = 12742 Kg$$

$$\frac{12742}{3} = 4247 Kg < 6158 Kg \quad \text{القوة على كل مسبار :}$$

$$(R_b = 2.0 \times 1.8 \times 1960 = 7056 Kg > R_{du})$$

ملاحظة : المعتاد أن مقاطع الكمرات تكون معرضة لمعزوم حثي مصحوبة بقوى قص . وفي هذه الحالة تقاوم المسامير على كل من جانبي القطع قوة القص عند ذلك المقطع .

ويرى بعضهم أن تحسب المسامير على قوة قص أكبر ، وبالفنون يظالبون بحسابها على أساس ما يستطيع الجذع أن يقاومه . ونرى أن تحسب المسامير على أكبر قوة قص تتعرض لها الكمر . وتقاوم المسامير على كل من جانبي القطع قوة القص بالتساوي ولنفرض أننا منحسب المسامير على أساس مقاومة (مقدرة) الجذع في القص :

$$Net A_m = (44.6 - 6 \times 2.0) \times 1.8 = 58.68 \text{ cm}^2$$

$$S = 58.68 \times 840 = 49\,291 \text{ Kg}$$

القوة الرأسية على كل مسبار :

$$V = \frac{49291}{18} = 2738 \text{ Kg}$$

القوة الكلية على المسبار الأكثر بعداً عن المحور المحايد :

$$Res = \sqrt{(4247)^2 + (2738)^2}$$

$$= 5053 \text{ Kg} < 6158 \text{ Kg} \quad O.K.$$

الطريقة الثانية لتفليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة باستخدام الأمامات

لأم الوتر :

المعتاد أن يؤخذ كل من الوتر العلوي والوتر السفلي مقطوعاً واحداً بكامل طول الجمل ، إلا أن الوتر ينقطع في إحدى الحالات الآتية :

أ - إذا كان طول الوتر أكثر من الطول الذي تورد به المقاطع المطلوبة .

ب - إذا كان طول الجمل أكثر من الطول الممكن نقله بوسائل النقل المتاحة .

ج - إذا انكسر اتجاه الوتر .

ويمكن تغيير مقطع الوتر في حالتين :

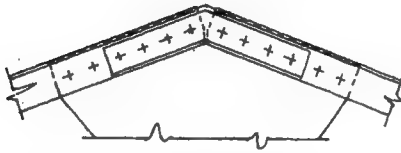
- إذا انكسر اتجاه الوتر .

- إذا انتهى طول المقطع ، ويتم ذلك عند عقدة . ويلزم عند ذلك أن

يمتد المستوى الخارجي للرجلين البارزتين . وإن كان هذا يعني أن خطي المسامير لا يتقابلان مع ما يتبع ذلك من عزم حني عند العقدة .

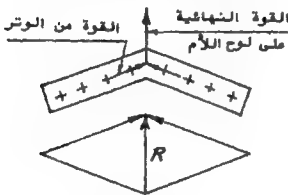
وإذا كان عدد المسامير اللازمة لنقل القوة من عضو الوتر إلى لوح التجميع ، أو عند لام الوتر بعضه ببعض ، أكبر مما يسمح به (أي أكثر من ٧ في خط القوة) وجب لام الوتر ، سواء أكان الوتر مستقيماً أم منكسراً . وقد سبق أن شرحنا لام الوتر المستقيم على لوح التجميع عند عقدة وكذلك فيما بين العقدتين ، والآن نتكلم عن لام الوتر المنكسر .

١ - لام الوتر العلوي :



شكل (١٦-٥)

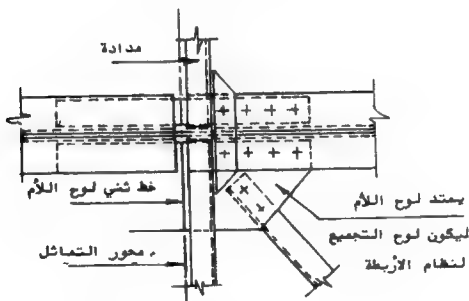
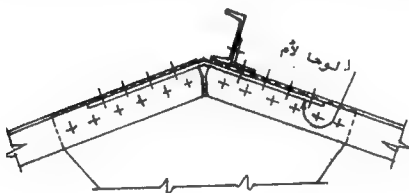
أ - وضع لוחي لام على الرجلين المربوطتين - في هذه الحالة تعمل المسامير التي تربط لוחي اللام في ٤ مستويات قص وتعمل المسامير خارج لוחي اللام في قص مزدوج . ويجب مقطع لوح اللام ليقاوم القوة التي تنتقل إليه من المسامير التي تربطه . ولوح اللام في هذه الحالة منكسر على



شكل رقم ٨ . وللقوتين اللتين تؤثران على اللوح المنكسر محصلة تحتاج لعدد من المسامير أقل كثيراً من تلك التي في اللوحين معاً .

شكل (١٧-٥)

١١- أما وضع لوحي لام على الرجلين البارزتين للوتر العلوي فإنه يحتاج إلى دراسة عدم تعارض رؤوس المسامير أو رؤوس البراغي في الوصلات بالموقع مع مدادتي القمة أو قبايبهما .

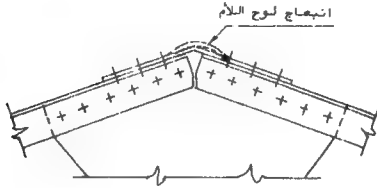


شكل (٥- ٤٨)

ويمتد لوح اللام ليتسع لوصلة أربطة الريح في حالة وجودها .

ويلاحظ أن وضع لوح لام فوق زاويتي العضو غير مناسب (رغم أنه يكون لوحاً واحداً لا لوحين) وذلك لسببين : الأول انه يغير من منسوب المدادتين عند المفصل .

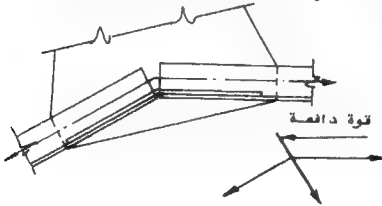
والثاني أن اللوح ، وهو منثني ، يتعرض لقوة طاردة هي محصلة ما يصل اللوح من قوتي الضغط بضلعي الوتر ، مما يتسبب في انبعاج (شكل ٥ - ٤٩) .



شكل (٥ - ٤٩)

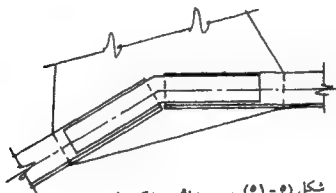
ب - لام الوتر السفلي :

يوضع لوحا اللام على الرجلين البارزتين حتى تكون محصلة القوتين في اللوح ضاغطة على رجلي الزاويتين البارزتين فلا يحدث للوح انبعاج (شكل ٥ - ٥٠) .



شكل (٥ - ٥٠) - لوحا لام منثنيان

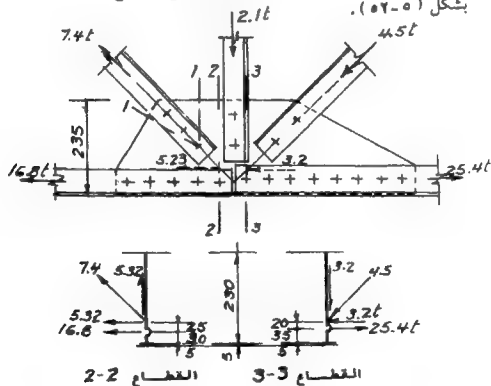
كما يمكن استعمال لوحى لام منكرين على الرجلين المربوطتين (شكل ٥١-٥) .



شكل (٥١-٥) لوحا لام منكران

الجهود في ألواح التجميع :

لعل دراسة هذا الموضوع تكون أوضح عن طريق مثال محلول .
مثال (٥١-٥) - لندرس الجهود في لوح التجميع للمفصل المين
بشكل (٥٢-٥) .



شكل (٥٢-٥)

القطاع ١ - ١

القوة في القطر 3-D تنتقل إلى لوح التجميع بثلاثة مسامير. فعند المسامير الثالث تكون القوة كلها قد انتقلت إلى لوح التجميع ويكون قد انتهى الجزء الدامل من القطر ويكون القطاع 1-1 هو القطاع الحرج في اللوح بالسبة لهذا القوة. ويؤخذ جزء القطاع عمودين على حربي اللوح وبذلك يكون طول 1-1 هو أقصر الأطوال بالنسبة للقوة 7.4t. ونظراً لأن هذا القطاع غير عمودي على القوة فيكون الطول الفعال 80٪ من طوله ويكون .

$$A_{nn} = \{ 0.8 (10.5 + 13.5) - 1.7 \} \times 1.0$$

$$= 17.5 \text{ cm fact} = \frac{7400}{17.5} = 429 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{7400}{17.5} = 429 \text{ Kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ Kg/cm}^2 \quad O K$$

القطاع ٢ - ٢ :

عند هذا القطاع تكون القوة في الوتر 3-L قد انتقلت كلها إلى لوح التجميع، كما يقطع امتداد القوة في القطر 3-D وبذلك يكون القطاع 2-2 معرضاً إلى قوة شد مقدارها 22 030 Kg وإلى قوة قص قدرها 5230 Kg وتعمل قوة الشد على بعد 7.9 cm من مركز القطاع ويكون عزم الحني على مقطع اللوح:

$$M = 22030 \times 7.9 = 174\,040 \text{ Kg cm}$$

$$A = 23.0 \text{ cm}^2$$

$$I = 1014 \text{ cm}^4$$

$$Z = 88.2 \text{ cm}^3$$

مساحة المقطع
عزم عطالة المقطع
معابر المقطع

$$f_{act} = \frac{22\,030}{23.0} + \frac{174\,040}{88.2}$$

$$= 958 + 1973 = 2931 \text{ Kg/cm}^2 \quad N.G.$$

وهذا الجهد غير مأمون ، يضاف إلى ذلك أن المقطع معرض لقوة قص ، مما يُحدث جهوداً قصوى تزيد على هذه القيمة . كما يلاحظ أننا في حساب خصائص المقطع قد أهملنا ثقب المسار ، أي أن الجهد الفعلي يزيد كثيراً على القيمة المذكورة .

القطاع ٣ - ٣ :

محصلة القوة في الوتر 4 - L مع المركبة الأفقية في القطر 4 - D تساوي 22.2t + وتؤثر على بعد 8.3 cm من مركز القطاع وبذلك تحدث فيه عزم حني قدره 184 260 kg cm وبذلك يصبح الجهد فيه :

$$f_{act} = \frac{22\,200}{23.0} + \frac{184\,260}{88.2}$$

$$= 965 + 2089 = 3054 \text{ Kg/cm}^2 \quad N.G.$$

وجهد الشد هنا أكبر من جهد الشد في القطاع ٢ - ٢ لكن قوة القص أقل : 3.2t مقابل ٣٢,٥ طن .

كما تقدم يتبين أنه عند المفصل الذي يكون الوتر فيه غير مستمر تحدث في لوح التجميع جهود أعلا كثيراً من المسموح بها بل تتعدى حد الخضوع .

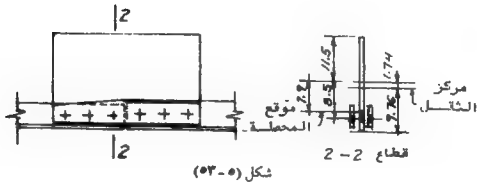
وبمقارنة هذه الحالة بحالة الوتر المستمر نجد أن كلاً من القطاع ٢ - ٢ و ٣ - ٣ يحتوي ، بالإضافة إلى مقطع اللوح ، على زاويتي الوتر ، فإذا اعتبرنا أن الزاويتين تقاومان القوة في الوتر كان على اللوح مقاومة القوة في القطر فقط ومن دون حساب ، يمكن القول أن الجهد سيكون مأموناً .

وبفكرة مشابهة يمكن خفض الجهد إلى الحدود المسموح بها وذلك باستخدام ألواح لأم على الرجلين المربوطتين وإما على الرجلين البارزتين .
مثال (١٥-٥) - لندرس الآن تطبيق ذلك على المثال السابق .

أ - لوجا لأم على الرجلين المربوطتين :

(يلاحظ أن هناك فرقًا ملليمتر واحد بين سمكي الزاويتين)

باستخدام لوح لأم مقاس 55×10 .



$$A_{nn} = 23.0 \times 1.0 + 2 \times 5.5 \times 1.0 - 3 \times 1.7 \times 1.0$$

$$= 28.9 \text{ cm}^2$$

مركز المقطع .

$$e = \frac{2 \times 5.5 \times 1.0 \times 8.5 + 1.7 \times 1.0 \times 8.5}{28.9}$$

$$= 1.74 \text{ cm}$$

من منتصف مقطع اللوح

$$I = \frac{1.0 \times 2.30^3}{12} + \frac{2 \times 1.0 \times 5.5^3}{12} + 23.0 \times 1.74^2$$

$$+ 2 \times 5.5 \times 6.76^2 - 3 \times 1.7 \times 1.0 \times 6.76^2$$

$$= 1615 \text{ cm}^4$$

$$e = 7.9 \quad 1.74 = 6.16 \text{ cm}$$

بعد القوة عن المركز:

$$M = 22.030 \times 616 = 135.705 \text{ Kg cm}$$

$$f_{act} = + \frac{2.2030}{28.9} + \frac{135.705 \times 9.76}{1615}$$

$$= + 762 + 820 = 1582 \text{ Kg cm}^2$$

لا زال الجهد عاليا وإن كان نقص إلى ما يقرب من النصف

ب - لوح لام على الرجلين البارزتين:

باستخدام لوح لام مقاسه: 170×6 شكل (٥ - ٥)

$$A_{net} = 23.0 \times 1.0 + 17.0 \times 0.6 - 2 \times 1.7 \times 0.6 - 1.7 \times 1.0$$

$$= 29.46 \text{ cm}^2$$

مركز المقطع عند

$$e = \frac{(17.0 - 3.4) \times 0.6 \times 12.3}{29.46} = 3.4 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1.0 \times 23.0^3}{12} + 23.0 \times 3.4^2 - 1.7 \times 4.0^2$$

$$+ (17.0 - 3.4) \times 0.6 \times 8.9^2 = 1902 \text{ cm}^4$$

$$M = 22030 \times 4.5 = 99135 \text{ Kg cm}$$

$$f_{act} = \frac{22030}{29.46} + \frac{99135}{1902} \times 9.2$$

$$= 748 + 480 = 1228 \text{ Kg cm}^2$$

O.K.



مركز الثقل

موقع المحطة

شكل (٥ - ٥)

فما تقدم يتبين أن لوح النجميع عند مفصل حيث الوتر غير مستمر
يتعرض للجهود غير مأمونة . ويمكن خفض تلك الجهود بجعل الوتر مستمراً
وإلا لزم استعمال لأمانات . والأفضل أن يكون لوح السلام على الرجلين
البارزتين .

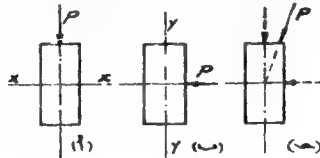
الفصل السادس

الكمرات

مقدمة :

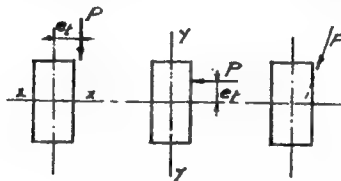
الكمرة (*Beam* أو *Girder*) هي ذلك العضو من المنشأ الذي يحمل أحمالاً في مستويات عمودية على محوره الطولي ، ويطلق عليها لذلك أحمال عرضية . فإذا مرت الأحمال بمراكز المقاطع فإنها تتسبب في حدوث عزوم حني ، تكون في الأغلب مصحوبة بقوى قص . وتتغير العزوم وقوى القص من مقطع إلى آخر بحسب توزيع الأحمال على الكمرة .

وقد يتغير مقطع الكمرة ، في اتجاه محورها الطولي ، ليناسب توزيع عزوم الحني أو ليناسب توزيع قوى القص . وإذا مر الحمل بأحد المحورين الرئيسيين لمقطع الكمرة (شكل ٦-١ و ب) فإنه يحدث عزم حني حول المحور الآخر ، فهو عزم حني بسيط (*Simple Bending*) . وإذا مر حمل بكل من المحورين ، أو كان الحمل مائلاً على المحورين الرئيسيين (شكل ٦-١ حـ) فإنه يحدث في المقطع عزم حني مزدوج (*Double Bending*)



شكل (٦-١)

وإذا خرج الحمل المرغبي عن نقطة تقاطع المحورين الرئيسيين تسبب في حدوث عزم لي $P \cdot e$ (شكل ٦-٢) ، بالإضافة إلى عزم (أو عزمي) الحني .



شكل (٦-٢) مقاطع معرضة لعزم التواء

المقاطع المستعملة للكمرات:

لما كان الجهد الناشئ عن عزم الحني يتوقف على عزم عطالة المقطع أو بالأحرى على معايير المقطع (Modulus of Section) المرموز له بالرمز $Z = \frac{I}{y}$ ، حيث جهد الحني :

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} \quad (6-1)$$

$$f_b = \frac{M}{Z} \quad (6-2)$$

فإن المقاطع المعرضة لعزم حني تأخذ الشكل الذي يعطى عزم عطالة (أو Z) أكبر حول المحور الذي يحدث حوله عزم الحني.

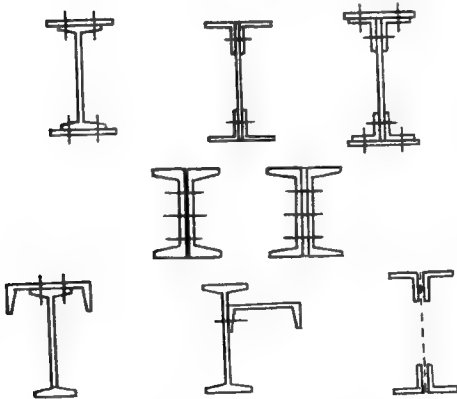
ومقاطع الكمرة المعرضة لعزم حني بسيط تأخذ أحد الأشكال الآتية:

أولاً : مقاطع مدرفلة أو جاهزة (Rolled Sections) :

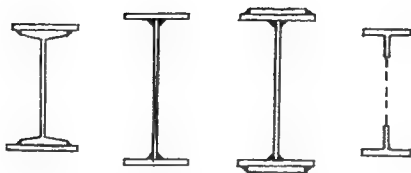


شكل (٦ - ٣) مقاطع جاهزة

ثانياً : مقاطع مبنية :



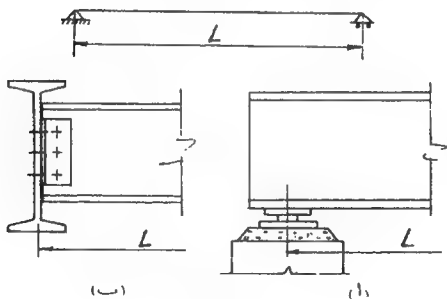
شكل (٦ - ٤) مقاطع مبرشة مبنية (Riveted Built-up Sections)



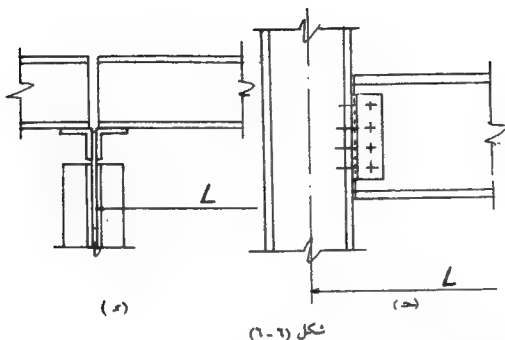
شكل (٦-٥) مقاطع ملحومة مبنية (Welded Built-up Sections)

بحر الكمرية (Span of Beam) :

هو المسافة بين محوري الركيزتين (الكمرتين) أو محوري العضوين اللذين يحملانها (مهما كان عرض الحاملين) .



شكل (٦-٦)



الأحمال على الكمرات :

تتوقف قيمة الأحمال ونوعها على موقع الكمرة من المنشأ وعلى الغرض من المنشأ نفسه .

١ - الحمل الميت : (Dead Load)

أ - الوزن الذاتي - يتوقف هذا الوزن على فتحة الكمرة ونوع الفتحة (بسيطة أو مستمرة) كما يتوقف على الأحمال الواقعة على الكمرة : قيمتها ومداها وطبيعتها كما يتوقف على الجهد المسموح به لمادة الكمرة . ويتراوح عمق الكمرة بين $\frac{1}{10}$ من الفتحة للكمرات القليلة الحمل وبين $\frac{1}{4}$ الفتحة للكمرات الثقيلة الأحمال .

ب - الحمل المضاف (Superimposed Load) - ويشمل تلك الأحمال التي لا تتحرك كما لا يتركها غيرها مثل الأرضيات (Floors) سواء أكانت

معدنية أو خشبية أو بيتونية. ثم كسوة الأرضية (Flooring Material) من البلاط (Tiles) أو الخشب . كما يشمل الحوائط (Walls) والقواطع (Partitions) وكذلك السقف المستعار (False Ceiling) . وقد يكون الحقل موزعاً بالتساوي (Uniformly Distributed) وقد يكون موزعاً بنظام معين (Distributed) وقد تحمل الكمرة ، التي تسمى عندئذ كمرة رئيسية أو رافدة رئيسية ، قد تحمل كمرات أخرى ثانوية (Secondary Beams) تنقل إليها أحمالها في نقط محددة على هيئة أحمال مركزة (Concentrated Loads) .

٢ - الحمل الحي (Live Load)

ويمكن تصنيفه إلى ثلاثة أنواع :

أ - حمل حي موزع ، وتحدد قيمته المواصفات سواء على أسطح المباني والمنشآت كما سبق أن أوضحناه ، أم على أرضيات المباني والمنشآت المختلفة . وتحدد المواصفات الأحمال على هذه الأخيرة - وهي بالكيلوجرام على المتر المربع - كما يلي :

٢٠٠	المباني السكنية
	المكاتب وحجرات التدريس والسلاالم والشرفات
٣٥٠	ومداخل المساكن وصلاتها والمستشفيات
	الحجرات العامة ومتاجر التجزئة والمطاعم وحجرات
٤٠٠	الاجتماع ذات المقاعد الثابتة
	دور السينما والتمثيل والملاهي والمدرجات ودور الكتب وحجرات
٥٠٠	المحفوظات ودور القضاء ودور العبادة
٦٠٠	حجرات الاجتماع ذات المقاعد غير الثابتة وأرصعة الركاب
٧٥٠	حجرات غش المسافرين والمخازن والجراجات ومدراجات الملاعب
١٠٠٠	مخازن البضائع الثقيلة

أرصعة البضائع ومخازنها وأرصعة شحن وتفريغ الأقطان ١٥٠٠

ب - حمل حي خاص ، مثل الآلات الثابتة والمساعد والتريينات .

ج - حمل متدرج (Rolling Load) ، ويشمل العربات والقطارات والمرفاعات ويُعطى على هيئة أحمال مركزة عند مواقع العجلات ، كما تُحدد المسافات بين العجلات . وأحيانا يستبدل هذا الحمل بحمل مكافئ موزع (Equivalent Load) ، وتعطى قيمة له معادلة لتأثير الأحمال المتدرجة عند حساب كمات الجسور أو روافدها .

كما تحسب مدادات الأسطح على حمل حي مركز قدره ١٥٠ كيلوجراما يراجع عليه مقطع المادة بعد تصميمها على الحمل الحي الموزع .

٣ - الصدم الديناميكي (Impact) :

وهو التأثير الديناميكي (Dynamic Effect) الناشئ من حركة الأحمال المتحركة بسبب عدم استواء سطح الطريق وعدم انتظام استدارة العجلات أو عدم انضباط لوليات العجلات . وتعطى له قيمة (I) ترفع بها مقادير مسببات الجهد من قوى محورية وعزوم حني وقوى قص وعزوم لي . وتؤخذ القيم الآتية عند تصميم المنشآت المعرضة للصدمات :

التريينات والمساعد	١٠٠٪
الآلات الثابتة المسببة للاهتزازات	٥٠٪
المرفاعات الكهربائية المتحركة	٢٥٪
المرفاعات اليدوية المتحركة	١٠٪

٤ - الصدم الجانبي (Lateral Shock) :

تُحدد العجلات عند تحركها بسبب الخلو بين العجلات والقضبان

التي تسير عليها وبسبب تأرجح الحمل جانبياً . وتعاود الصدمة ١٠٪ من قيمة أقصى حمل على العجلة وتعمل عند سطح القضيب (شكل ٦-٧) .



شكل (٦ - ٧) عجلة ونش سيار

٥. - قوة الكبح أو قوة الفرملة (Braking Force) :

عند بدء الحركة تحدث العجلات قوة أفقية طولية عند سطح القضيب كما تحدث القوة نفسها في الاتجاه مضاد عند إيقاف الحركة وهذه القوة عبارة عن الاحتكاك بين الفولاذ والفولاذ وقيمتها ١٥٪ من قيمة الحمل على العجلة ولا يدخل في حسابها التأثير الديناميكي .

وتعتبر كل من قوة الصدم الجانبي وقوة الكبح قوة ثانوية

٦ - ضغط الريح (Wind Pressure) :

يراجع تصميم الكمرات الجانبية بإدخال ضغط الريح ضمن القوى المؤثرة عليها . ويكون ضغط الريح عاملاً مهماً إذا كان الحمل الراسي على الكمره خفيفاً كأن تحمل ألواحاً معدنية (صلب أو ألومنيوم) موجة . وحينئذ يختار مقطعها ليناسب تلك القوة الجانبية (شكل ٦-٨)



شكل (٦ - ٨)

والقوى الأفقية الثلاث وإن كانت تعتبر ثانوية بالنسبة إلى الأعضاء الرئيسية للمنشآت إلا أنها تعتبر قوى رئيسية عند حساب الشكالات والأربطة التي تقاوم تلك القوى .

رابعاً - اختيار المقطع :

١ - الكمثرات المعرضة لعزم حتي بسيط .
معادلة الجهد في هذه الحالة :

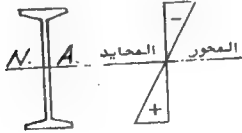
$$f = \frac{M}{Z} \quad (6-3)$$

وبتحويل هذه إلى المعادلة التصميمية :

$$Z_{req} = \frac{M}{f_{pt}} \quad (6-2)$$

(حيث إن الجهد المسموح به في حالة الحني هو نفسه المسموح به في حالة الشد)

ولما كانت الجهود الناشئة عن عزم الحني تتغير من ضغط في إحدى ناحيتي المحور المحايد إلى شد في الناحية الأخرى . ولما كانت المقاطع الفولاذية عرضة لوجود ثقوب بها ، فقد لزم خصم مثل هذه الثقوب من المقطع حيث



شكل (٦-٩)

جهود الشد ، ولا سيما لو كانت تلك الثقوب في الشفة (حيث جهد الشد الأكبر) . في هذه الحالة تصبح المعادلة التصميمية :

$$\left(Z_{req} = \frac{M}{f_{pt}} \right) \quad (6-4)$$

المت

ويمكن القول بصفة مبدئية أن النقص في قيمة معايير المقطع بسبب ثقبو المسامير يصل - كما في حالة أعضاء الشد - إلى ١٥٪ . وبذلك تصبح المعادلة التصميمية :

$$Z_{req} = \frac{M}{0.85 f_{ot}} \quad (6-5)$$

الحالة الأولى : اختيار مقطع جاهز :

إن اختيار مقطع جاهز ليحقق معايير المقطع الناتج عن المعادلة (6-3) أو (6-5) أمر ميسور باستخدام جداول المقاطع المعدنية التي يبين فيها قيمة Z لكل مقطع حول كل من المحورين الرئيسيين ، ولكن القيم المذكورة هي للمعايير الكلي أي للمقطع دون خصم ثقبو . فإذا كان بالمقطع ثقبو حسب له عزم المطالة الصافي ثم حسب معايير المقطع الصافي لكل من الألياف العليا والسفلى (إذا ما كان موقع المحور المحايد غير مماثل بالنسبة للمقطع) .

(مثال ٦ - ١) - المطلوب اختيار مقطع لآ حادي ليقاوم عزم حني قيمته $51m$. ماذا يكون المقطع لو وجد بكل شفة ثقبان قطر ١٤ مم ؟

أولا - مقطع دون ثقبو :

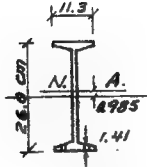
$$Z_{req} = \frac{500\,000}{1400} = 357\,cm^3$$

$$Try\ S.I.B.\ 240 \quad Z_x = 354\,cm^3$$

$$f_{ot} = \frac{500\,000}{354} = 1412\,Kg/cm^2$$

$$\approx 1400\,Kg/cm^2 \quad May\ be\ allowed$$

ثانياً - مقطع ذو تقوين في الشفة :



S.I.B. 260

شكل (٦-٩)

$$Z_{net} = \frac{500\,000}{1400} = 357 \text{ cm}^3$$

$$Z_{req} = \frac{357}{.85} = 420 \text{ cm}^3$$

$$Try \text{ S.I.B. } 260 - Z_n = 442 \text{ cm}^3$$

أ - لا نخضعم الثقوب من شفة الضغط :

$$A = 53.3 \text{ cm}^2 \quad I_n = 5140 \text{ cm}^4$$

$$A_{net} = 53.3 - 2 \times 1.4 \times 1.41 = 49.35 \text{ cm}^2$$

موقع المحور المحايد :

$$e = \frac{2 \times 1.4 \times 1.41 \times (13.0 - 0.7)}{49.35} = .985 \text{ cm}$$

$$I_{net} = 5740 + 49.35 \times 0.985^2 - 2 \times 1.41 (12.3 + .985)^2$$

$$= 5091 \text{ cm}^4$$

$$Z_{net} = \frac{5091}{13.985} = 364 \text{ cm}^3 (\approx 82\% Z_{gross})$$

$$f_{net} = \frac{500\,000}{364} = 1374 \text{ Kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

O. K

ب - نخضعم الثقوب من كلا الشفتين :

$$I_{net} = 5740 - 4 \times 1.4 \times 1.41 \times (12.3)^2 = 4545 \text{ cm}^4$$

$$Z_{net} = \frac{4545}{13.0} = 350 \text{ cm}^3 (79\% Z_{gross})$$

$$f_{act} = \frac{500 (100)}{350} = 1428 \text{ Kg/cm}^2$$

(يمكن قبوله حيث الزيادة في الجهد عن الحالة السابقة ٤٪ فقط)

وقد سمحت المواصفات بتحقيق الجهد ناحية الشد باستبعاد الثقوب في كلتي الناحيتين، وناحية الضغط دون استبعادها .

الحالة الثانية - اختيار مقطع لוחي مبني :

مقدمة :

$$I_x = 540 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 442 \text{ cm}^3 : I 260$$

مقدرة المقطع (عزم المقاومة للحني)

$$M_R = 442 \times 1400 = 618\ 800 \text{ Kg cm}$$

القوة التي تتحملها الشفة :

$$S = 11.3 \times 1.41 \times 1325 = 21\ 110 \text{ Kg}$$

عزم مقاومة الشفتين للحني :

$$M_R = 21\ 110 \times 24.6 = 519\ 340 \text{ Kg cm}$$

نسبة ما تقاومه الشفتان من عزم الحني :

$$= \frac{519\ 340}{618\ 800} = 84\%$$

فالشفتان اللتان تبلغ مساحتهما ٦٠٪ فقط من مساحة المقطع تقاومان

٨٤٪ من عزم الحني الذي يتعرض له المقطع :

وقد اتبعت الطريقة التالية في اختيار مقطع لוחي مبني وتسمى طريقة مساحة مقطع الشفة وهي وإن كانت تقريبية من الوجهة النظرية إلا أنها تعطي نتائج قريبة جداً من الصحيحة . وفيما يلي استنتاج الطريقة :

إذا كانت مساحة لوح (أو ألواح الشفة) في كل ناحية : A_w

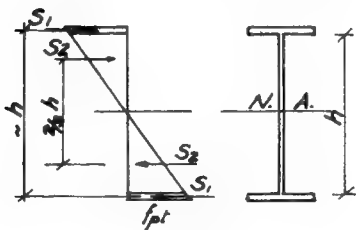
وكانت مساحة لوح الجذع

$$A_w = h \cdot t \quad (6-6a)$$

القوة بلوح الشفة

$$S_1 = A_w \times f_{ot} \quad (6-6b)$$

القوة بكل من نصفي الجذع



شكل (٦-١٠)

$$S_2 = \frac{h \times t}{2} \times \frac{1}{2} f_{ot} = \frac{A_w}{4} f_{ot} \quad (6-6c)$$

وتقع في مركز مثلث الجهد .

(في كل من المقدارين السابقين تقريب لقيمة الجهد الفعلي)

عزم مقاومة المقطع :

$$M_R = A_{pl} \times f_{ot} \times h + \frac{A_w}{4} \times f_{ot} \times \frac{2}{3} h$$

$$= \underline{f_{ot}} \times h \left(A_{pl} + \frac{A_w}{6} \right) \quad (6-6d)$$

(قيمة h في هذا المقدار تقريبية) .

فإذا أسمينا المقدار $\left(A_{pl} + \frac{A_w}{6} \right)$ مساحة الشفة (A_{sf})

فإن المعادلة الآتية تعطى مساحة الشفة للمقطع الذي ارتفاع جذبه h ليقاوم عزم حني مقداره M :

$$A_{sf} = \frac{M}{h \cdot f_{ot}} \quad (6-6)$$

فإذا كان بالشفة ثقب لمسامير قُدر النقص في المساحة بـ ١٥٪ وبذلك تصبح المعادلة .

$$A_{sf} = \frac{M}{0.85 h f_{ot}} \quad (6-7)$$

مثال (٦-٢) - لاختيار مقطع لוחي مبني على شكل I لمقاومة عزم حني قيمته 5.0 tm وكان بالشفة ثقبان لمسار قطر ١٤ سم .

إذا أخذنا عمق المقطع نفسه في المثال (٦-١) وهو ٢٦ سم :

وكان ارتفاع الجذع ٢٤ سم وسمكه ٨ سم :

$$A_{sf} = \frac{500\,000}{0.85 \times 24 \times 1400} = 17.5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1}{6} A_w = \frac{1}{6} \times 24 \times 8 = 3.2 \text{ cm}^2$$

$$A_{pl} = 17.5 - 3.2 = 14.3 \text{ cm}^2$$

اختيار لوح الشفة : 145×10

لتحقيق الجهد:

$$I = \frac{0.8 \times 24^3}{12} + 2 \times 14.5 \times 12.5^2 = 5453 \text{ cm}^4$$

$$I_{net} = 5453 - 4 \times 1.4 \times 1.0 \times 12.5^2 = 4578 \text{ cm}^4$$

$$Z_{net} = \frac{4578}{13.0} = 352 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = \frac{500\,000}{352} = 1420 \text{ Kg/cm}^2$$

مساحة المقطع المختار : 48.2 cm^2

مساحة مقطع S.I.B. N°260 53.5 cm^2

فهناك وفر حوالي ١٠٪ . كما وأن اختيار مقطع مبني يعطي فرصة لزيادة عمق الكمرية لزيادة جساءتها (وإن كان ذلك يتم على حساب زيادة طفيفة في المساحة . ففي المثال السابق اذا اخترنا مقطعاً جده 8×300 وكل من اللوحين 8×130 فان عزم العطالة الصافي يصبح 5670 cm^4 بزيادة قدرها ٢٤٪ وإن كان هذا لا يزيد كثيراً في المعايير انصافي للمقطع إذ يبلغ 359 cm^2 ويكون الجهد الأكبر في المقطع 1393 Kg/cm^2 . وتبلغ مساحة المقطع الجديد 50 cm^2 وهي زيادة طفيفة إذا ما قورنت بالارتفاع الكبير في قيمة الجساءة ، وكذلك النقص في الجهد في المعدن .

الحالة الثالثة . اختيار مقطع لكمرة شبكية :

تتكون الكمرة الشبكية من وترين علوي وسفلي ومن أعضاء الجذع :
الأقطار والقوائم .

وتختلف الكمرة الشبكية عن الجبالون في أن وتر الكمرة الشبكية يكون عملاً بكامل طوله : الوتر العلوي أو الوتر السفلي أو كليهما ، كما لو كانت كمرّة ذات مقطع عادي . وبذلك تتعرض أضلاع الوتر المحمل لعزم حني ، باعتبارها مستعراً عند العقد ، بالإضافة إلى القوة العمودية .

ويفرض عمق الكمرة الشبكية نسبة من بحرهما ، وإن كانت لا تصل عادة إلى النسبة في الجبالونات .

وكما هو في الجبالونات فإن القوة في الأوتار تحسب من عزم الحني عند قطب الوتر بقسمته على العمق النظري للكمرة : الذي هو البعد بعد مركزي مقطعي الوترين . وعلى هذا فإن القوة في الوترين تتناسب عكسياً مع عمق الكمرة .
أما القوى في أعضاء الجذع فتحسب من قوة القص في منتصف العقلة فتكون

للنظام الفردي للأقطار :

$$S_0 = \pm \frac{Q}{\sin \alpha} \quad (6-8)$$

للنظام المزدوج للأقطار :

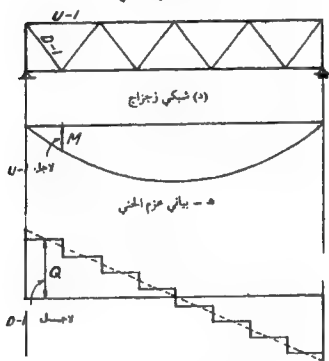
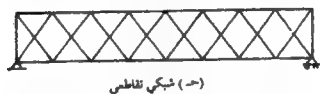
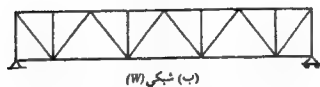
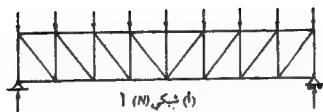
- باعتبار القطرين يحملان معاً :

$$S_0 = \pm \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad (6-9)$$

- باعتبار قطر الشد فقط عاملاً :

$$S_0 = + - \frac{Q}{\sin \alpha} \quad (6-10)$$

حيث α هي زاوية ميل القطر على الوتر ، فالقوة في القطر تتناسب عكسياً مع زاوية ميله .



و - بياني قوة القص

شكل (٦ - ١١) حساب القوى في اعضاء الجملال
المتوازية التوترين

فاذا كان بحر الكمرة $L = m$

وكانت مسافة العقلة $a = m$

. وكان العمق النظري للكمرة $h = m$

$$S_e \pm \frac{w L^2}{8h} \quad \text{فإن القوة القصوى في كل من الوترين}$$

$$M_a = \pm \frac{w a^2}{10} \quad \text{وعزم الخني في العقلة}$$

مثال (٦ - ٣) - لاختيار مقطع لكمرة شبكية بحرها $L = 5.00 m$ لمقاومة

عزم حني قدره $5.0 tm$

(يفضل أن تكون مثل هذه الكمرة الشبكية ملحومة) .

$$w = \frac{5000 \times 8}{(5)^2} = 1600 \text{ Kg/m} \quad \text{الحمل على الكمرة}$$

$$Q = 1600 \times 2.5 = 4000 \text{ Kg} \quad \text{قوة القص القصوى}$$

وبأخذ عمق 32 سم مثل المقطع في المثال السابق :

$$h = 29 \text{ cm} \quad \text{نفرض أن العمق النظري}$$

$$S_e = \pm \frac{500000}{29} = \pm 17240 \text{ Kg} \quad \text{القوة في الوتر}$$

لنقسم الوتر العلوي كما في شكل (٦ - ١١ د) إلى ١٠ أقسام كل قسم

$$a = 50.0 \text{ cm}$$

١ - مقطع الوتر العلوي :

$$M_a = \frac{1600 \times (.5)^2}{10} = 40.0 \text{ Kg m}$$

$$T_{1y} 2L \quad 65 \times 7, A = 2 \times 8.7 \text{ cm}^2, Z_x = 2 \times 7.18 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 f_{act} &\approx \frac{17240}{17.4} + \frac{4000}{14.36} \\
 &\approx 991 + 279 \\
 &\approx 1270 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &< 1300 \quad (O.K.)
 \end{aligned}$$

ب - مقطع الوتر السفلي :

$$\begin{aligned}
 \text{Try } 2L^* 55 \times 6; A &= 2 \times 6.31 \text{ cm}^2 \\
 f_{act} &= \frac{17240}{12.62} = 1366 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &< 1400 \quad (O.K.)
 \end{aligned}$$

ح - مقطع قطر الشد الأول :

$$L_D = L_0 = \sqrt{(29)^2 + (25)^2} = 38 \text{ cm} \quad \text{طول القطر :}$$

$$Q_1 = 4000 - 1600 \times 1.25 = 3800 \text{ Kg: قوة القص في منتصف القطر}$$

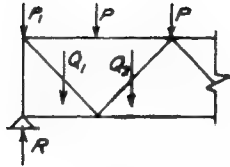
$$S_{D1} = \frac{3800}{(29/38)} = 5000 \text{ Kg} \quad \text{قوة الشد في القطر الأول:}$$

$$\begin{aligned}
 A_{req} &= \frac{5000}{1400} + \frac{3}{4} \quad \text{اختيار زاوية واحدة :} \\
 &= 4.76 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_{ry} L 50 \quad A = 4.80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Useful Area } (4.5 + \frac{1}{2} \times 5) \times 0.5 = 3.50 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{5000}{3.5} = 1429 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Maybe used)}$$



شكل (٦-١٧)

د - مقطع قطر الضغط الأول :

$$Q_2 = 4000 - 1600 \times 1.375 = 3400 \text{ Kg} \quad \text{قوة القص عند القطر الأول :}$$

$$S_{02} = \frac{3400}{29 / 38} = 4455 \text{ Kg} \quad \text{قوة الضغط في القطر الأول :}$$

$$L_b = 0.8 \times 38 = 30.4 \text{ cm}$$

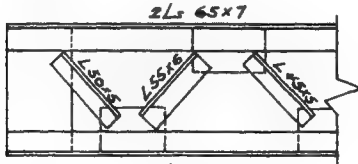
$$\text{Try } 1L 55 \times 6; A = 6.31 \text{ cm}^2, r_y = 1.01 \text{ cm}$$

$$\frac{L_b}{r} = \frac{30.4}{1.07} = 28.4$$

$$f_{02} = 1300 - 0.06 \times 28.4^2 = 1252 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 0.6 \times 1252 = 751 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{4455}{6.31} = 706 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$



شكل (٦-١٣)

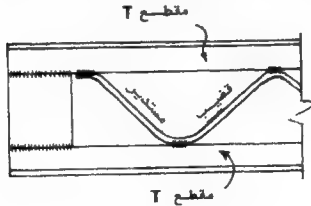
مساحة المقطع :

$2L^3 65 \times 7$:	17.40 cm^2
$2L^3 55 \times 6$:	12.62
$L 55 \times 6$:	6.31
		36.33
ألواح $\approx 20\%$:	6.67

43.0 cm^2

وهذه المساحة أوفر بنحو ١٠٪ من الكمرة II المملوئة . وبالطبع تستهلك بعضاً من هذا الوفر التكلفة الزائدة في العمالة .

تعقيب : أوردنا هذا المثال لمقارنة الكمرة الشبكية بالكمرة مقطع II . إذ تختار مقاطع لأعضاء الكمرات الشبكية أكثر اقتصاداً : فمثلاً يستعمل في الأوتار مقطع T يؤخذ من كمرة I تشق طولياً ، ليس ضرورياً في المنتصف فيؤخذ جزؤها الأكبر للوتر العلوي وبذلك يمكن لحام الأقطار مباشرة فيها دون حاجة إلى ألواح تجميع وهذا يحقق وفراً آخر . كما وأنه تستعمل للأقطار قضبان مستديرة تلف دون أن تقطع كما في (شكل ٦ - ١٤) ، وسعر هذه القضبان أقل من سعر المقاطع فهي، بذلك تحقق وفراً في التكلفة إضافة إلى قلة العمالة المطلوبة . وفي هذه الحالة يؤخذ طول التثبيت للأقطار $0.7L$.



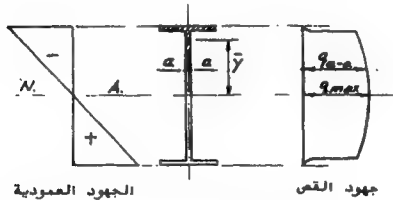
شكل (٦ - ١٤)

عل أنه بشييع استعمال الطراز الشبكي للكمرات ذات البجور الطويلة والاحمال الخفيفة مثل مدادات السطح .

تحقيق جهد القص : (Check for shear Stress)

بيدا اختيار مقطع كمره لكي يقاوم عزم الحني الاقصى الذي تتعرض له بحيث تكون الجهود العمودية في الالياف الطرفية من مقطع الكمره لا تجاوز الجهد المسموح به (f_{at}) ولما كانت الكمرات تتعرض في الوقت نفسه لقوى قص تحدث جهوداً في مستوى المقطع فإنه يجب التحقق من أن جهد القص الفعلي في المقطع الذي يحمل أكبر قوة قص ، لا يجاوز الجهد المسموح به في جنوع الكمرات والذي يساوي $0.6 f_{at}$ ولحساب جهد القص في مقطع نستخدم المعادلة :

$$q = \frac{Q.A.\bar{y}}{I.b} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (6-11)$$



شكل (٦-١٥)

وفيها :

Q = قوة القص عند المقطع Kg .

A = مساحة الجزء من المقطع الذي يعمل القطاع الذي يحسب عنده جهد القص (cm^2)

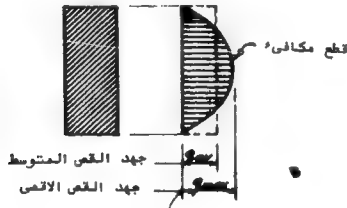
\bar{y} = بعد مركز المساحة المذكورة عن القِطاع $a-a$ (cm)

I = عزم عطالة المقطع بأكمله (cm⁴)

b = عرض المقطع عند القِطاع $a-a$ (cm)

ويتضح من توزيع الجهود في المقطع أن الجذع يقاوم معظم قوة القص (٩٧٪ منها تقريباً) .

وإذا كان الجهد المتوسط في المقطع المستطيل يساوي $\frac{2}{3}$ الجهد الأقصى فإنه في المقطع Δ يصل إلى نحو ٩٠٪ . من هاتين الملاحظتين يمكن تحقيق جهود القص بتقريب طير بعيد عن الصواب :



شكل (٦-١٦) جهود القص في مقطع مستطيل

٢ - اعتبار أن الجذع يقاوم كل قوة القص .

ب . اعتبار أن الجهد المتوسط نحو ٩٠٪ من الجهد الأقصى .

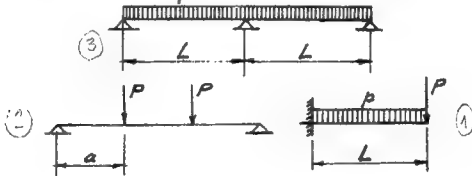
$$q_{av} = \frac{Q}{h} \approx 0.55 f_{px} \quad (6-12) \quad \text{أي}$$

حيث : (h) هو ارتفاع الجذع و (t) سمكه .

تحقيق الجهود الرئيسية : (Check for principal stresses)

إذا تعرض مقطع في كمره لعزم حني أقصى وصحبته قوة قص قصوى كما في الحالات التالية :

$$\left. \begin{array}{l} M_{max} = \frac{PL^2}{2} + PL \\ Q_{max} = PL + P \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} M_{max} = P \cdot a \\ Q_{max} = P \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} M_{max} = \frac{PL^2}{8} \\ Q_{max} = \frac{5}{8} PL \end{array} \right\}$$



شكل (٦-١٧)

فإن ملتقى الجذع بالشقة تؤثر عليه جهود عمودية وجهود قص عالية شكل (٦-١٨) مما يقتضي معه مراجعة الجهود الرئيسية التي تحسب من المعادلة :

$$f_{12} = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + q_k} \quad (6-13)$$



شكل (٦-١٨)

ويجب ألا يزيد الجهد الرئيسي على الجهد المسموح به في حالة الحني .

تحقيق الجهد المكافئ (Comparative Stress)

تتطلب المواصفات المصرية حساب الجهد المكافئ في المقطع إذا ما تعرض لجهد عمودي (f) وجهد قص (q) وذلك بحسب المعادلة :

$$f_e = \sqrt{f^2 + 3q^2} \quad (6-14)$$

ويسمح في هذه الحالة برفع الجهد المسموح به في الحني بمقدار ١٠ %.

التحنيب الجانبي لشفة الضغط

: (Lateral buckling of the compression flange)

رأينا كيف أن وتر الضغط في جمالون عرضة للتحنيب عمودياً على مستوى الجمل ، وقد اصطلح على تسمية ذلك التحنيب « التحنيب العرضي » أو « التحنيب الجانبي » .

وقد أوضحنا أنه لمقاومة التحنيب في الجمالونات يلزم سند الوتر . فإذا كان الوتر عملاً أمكن اعتبار نقط التحميل مواقع سند ، وإلا وجب تدبير أربطة لسند الوتر في مواقع مختارة ، كما يحدث عند سند الوتر السفلي لكابولي . والجمالون حالة خاصة من الكمرة ، وإن كانت الكمرات لا تظهر فيها تلك الظاهرة فذلك نظراً لأنها تكون عادة محملة ومسندة بكامل طولها .

فإذا كانت الكمرة غير مسندة جانبياً فإن شفة الضغط تكون عرضة للتحنيب الجانبي فيما بين النقط التي تسند فيها تلك الشفة عمودياً على مستوى الكمرة . وتؤثر العوامل التالية على مقدرة شفة الضغط لكمرة على مقاومة التحنيب الجانبي :

أ - الطول فيما بين نقط سند الشفة .

ب - عمق الكمرة

ويزداد بزيادتهما احتمال التحنيب .

ج - عرض الشفة .

د - سمك الشفة .

ويقل بزيادتهما احتمال التحنيب .

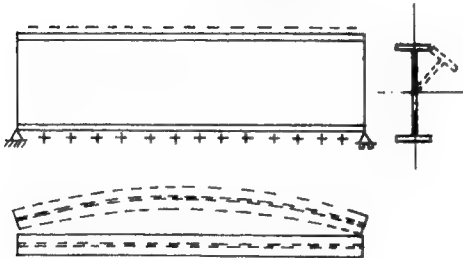
وبذلك تتناسب جهد الحني لكمرة تناسباً عكسياً مع المقدار $\frac{Ld}{bt}$ وفيه :

L = الطول غير المسنود لشفة الضغط .

d = عمق الكمرة .

b = عرض شفة الضغط

t = سمك شفة الضغط



شكل (٦-١٩) - التحنيب الجانبي لشفة الضغط

وتنص مواصفات المعهد الأمريكي للإنشاء بالفولاذ على أنه إذا زادت قيمة المقدار $\frac{Ld}{bt}$ على 600 فإن الجهد المسموح به للحنى :

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{\frac{Ld}{bt}} \text{ Kg/cm}^2 \quad (A) \quad (6-15)$$

كما تنص تلك المواصفات على مراجعة حساب الجهد المسموح به للحنى تبعاً لقيمة $\frac{L}{r_f}$ (حيث r_f نصف قطر عطالة الشفة المكونة من ألواح الشفة و $\frac{1}{3}$ عمق جذع الكمره) وذلك من واقع إحدى المعادلات الآتية (للفولاذ) . (٣٧)

$$\frac{L}{r_f} < 60 \quad f_{pb} = 1400$$

$$\frac{L}{r_f} = 60 - 120 \quad f_{pb} = 1600 - 0.056 \left(\frac{L}{r_f} \right)^2 \quad (6-16)$$

$$\frac{L}{r_f} > 120 \quad f_{pb} = \frac{11500\,000}{\left(\frac{L}{r_f} \right)^2}$$

على أن تعتبر القيمة الأكبر من (6-15) و (6-16)

وتعطى مواصفات جمعية مهندسي سكة الحديد الأمريكية معادلتين مشابھتين ، على أن تعتبر القيمة الأكبر ، إلا أنها تعطيان قيمة للجهد المسموح به للحنى أقل من سابقتها :

$$f_{pb} = \frac{740\,000}{\frac{Ld}{bt}} \text{ kg/cm}^2 \quad (6-17)$$

$$f_{pb} = 1400 - .03 \left(\frac{L}{r_y} \right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

كما تشترط تلك المواصفات ألا تزيد قيمة $\frac{L}{r_y}$ للكمرة على 160 وفيها r_y نصف قطر عطالة جزء الكمره تحت الضغط .

هذا ويمكن استخدام المعادلات الثلاث (15-6) إلى (17-6) فيها لو كانت شفتا الضغط والشد غير متماثلتين ، وعندئذ تؤخذ مقاسات شفة الضغط عند حساب جهد الحني المسموح به .

مثال (٦-٤) - كمرة بحرهما ٦,٠٠ أمتار تحمل ٣,٠ طن في منتصفها والمطلوب اختيار مقطع I^١ : أ - عادي ، ب - عريض الشفة ، عندما تكون الكمرة غير مسنودة .

جهد الحني المسموح به :

$$f_{pb} = f_{pi} \frac{L.d}{b.t} \leq 600 \quad \text{عندما :}$$

$$f_{pb} = \frac{840,000}{\frac{L.d}{b.t}} > 600 \quad \text{وعندما}$$

$$M = \frac{3.000 \times 6.00}{4} = 4.50 \text{ tm}$$

$$Z_{req} = \frac{450\,000}{1400} = 321 \text{ cm}^3$$

أولاً : مقطع BFL

Ty B.F.I. N° 180

$$Z_u = 426 \text{ cm}^3, d = 18.0 \text{ cm}, b = 18.0 \text{ cm}, t = 1.40 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{600 \times 18}{18 \times 1.4} = 429 < 600$$

$$f_{pb} = 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{a,t} = \frac{450\,000}{426} = 1056 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

ثانياً : مقطع S.I.B.

Try S.I.B. N° 240 .

$$Z_x = 354 \text{ cm}^3, d = 24.0 \text{ cm} \quad b = 10.6 \text{ cm}, t = 1.3 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{600 \times 24}{10.6 \times 1.31} = 1037 > 600$$

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{1037} = 810 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{450\,000}{354} = 1271 \text{ Kg/cm}^2 \quad (N.G.)$$

Try S.I.B. N° 280:

$$Z_x = 542 \text{ cm}^3, d = 28.0 \text{ cm} \quad b = 11.9 \text{ cm}, t = 1.52 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{600 \times 28}{11.9 \times 1.52} = 929$$

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{929} = 904 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{450\,000}{542} = 830 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

إذا سدت هذه الكمرية جانبياً في منتصفها :

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{300 \times 24}{10.6 \times 1.31} = 519 < 600$$

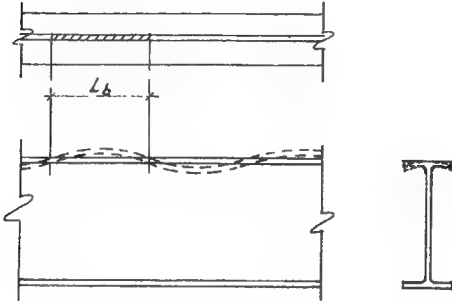
$$f_{pb} = 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

For S.I.B No 240 :

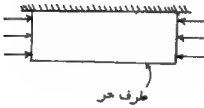
$$f_{act} = 1271 \text{ Kg/cm} \quad (O.K.)$$

التحنيب الموضعي لشفة الضغط :

(Local buckling of the compression flange)



شكل (٦-٢٠) التحنيب الموضعي لشفة الضغط



يتعرض الجزء الممتد من شفة
الضغط لحلول تحنيب ، يظهر على
هيئة تموجات في الاتجاه الطولي
للكرة. ويمكن تشبيه جزء من لوح
الشفة طوله يساوي موجة التحنيب
بلوح ممسوك في أحد حرفيه
الطويلين وحرّ في جانبه المقابل
ومسنود في جانبيه القصيرين
ومعرض عندها لجهود ضغط منتظمة .

وتنص المواصفات المصرية على ما يلي :

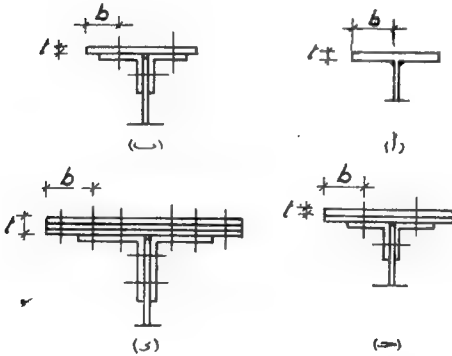
في الكمرات المملوئة ... $12t \leq b$ (شكل ٦-٢١)

في الكمرات المبرشمة ... $16t \leq b$ للصلب العادي

$14t \leq b$ للصلب عالي المقاومة

حيث t هو سمك أرفع لوح ظاهر بالشفة (شكل ٦-٢١ ب ، جـ)

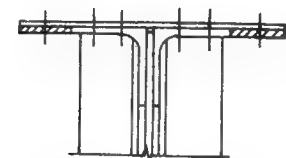
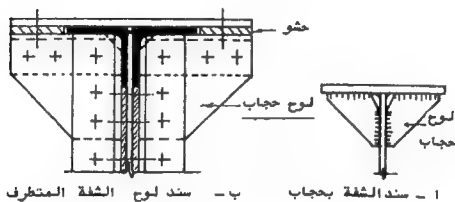
أو مجموع أسلاك ألواح الشفة إذا ربطت بعضها ببعض ربطاً كافياً خارج زوايا الشفة (شكل ٦-٢١ د) .



شكل (٦-٢١)

هذا مع مراعاة ألا تزيد المسافة الطرفية للمسامير على $3d$.

ويمكن سند لوح الشفة باستعمال ألواح « حجاب » (شكل ٦-٢٢ أ و ب) . كما يمكن إضافة خوصة لزيادة سمك اللوح المتطرف ولا سيما عندما يكون منفرداً (شكل ٦-٢٢ جـ) .

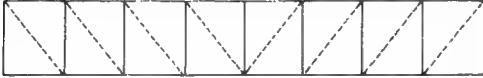


ج - زيادة سمك لوح الشفة المتطرف

شكل (٦-٢٢)

التحنيب العرضي للجذع : (Lateral buckling of web)

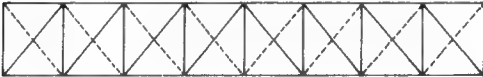
سبق أن تحدثنا عن تحقيق جهد القص في جدار الكمرة . ولكن دراسة الجهود في الجذوع أوضحت أن مقاطع الجذع تتعرض لجهود أخرى ، ربما كانت مقارنة الكمرة العادية بالكمرات الشبكية أو الجالون كفيلة بإيضاحها .



(أ)



(ب)



(ج)

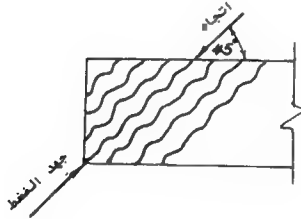
----- أعضاء شد ——— أعضاء ضغط

شكل (٦-٢٣) - القوى في أعضاء الجدار في الكمرات الشبكية

فالأقطار في شكل ٦-٢٣ معرضة لشد وفي (ب) معرضة لضغط فإذا اجتمع كلا نظامي الأقطار كما في (ج) فإن الأقطار التي تميل كما في (أ) تكون معرضة لشد وتلك التي تميل كما في (ب) تكون معرضة لضغط . ولكن القوى في الأقطار في (ج) نصف القوى في الأقطار المناظرة لها في (أ) و (ب) .

كما يلاحظ أن العنبر في (أ) معرضة لضغط وفي (ب) معرضة لشد ولكن في (ج) تكون معرضة لضغط وإن كانت القوى في تلك الأخيرة

صغيرة . والكمره الشبكية في شكل (ح) غير محدده (مقررة) استاتيكيها ثمانى مرات وهذا يعني أنه إذا فرض وانهارت أقطار الضغط الثانية لم يحدث انهيار للكمره ، إذا ما كانت أقطار الشد قادرة على مقاومة قوة القص في البانوهات التي تحويها . وعلى هذا فإن جذع الكمره العادية يتعرض لجهود ضغط في اتجاه أقطار الضغط وفي اتجاه القواثم ، وإن كانت الجهود في اتجاه الأقطار أكبر بكثير . وتشبيهاً للكمره I بالكمره الشبكية فإن جذع الكمره I يتعرض للتحنيب في اتجاه أقطار الضغط ، ولما كان الجذع مكوناً من عدد لانهاى من الأقطار فإنه يكون عرضة للتحنيب على شكل موجات في اتجاه جهود الضغط كما هو موضح في شكل (٦-٢٤) .



شكل (٦-٢٤) - انبعاج الجذع بسبب شير جهود الضغط : النظرى

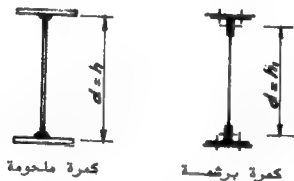
ويزداد احتمال التحنيب كلما ازدادت مساحة لوح الجذع ، ويقاوم سمك اللوح ذلك التحنيب . وهذا يعني أنه كلما ازداد عمق الكمره كلما نطلب ذلك زيادة في سمك لوح الجذع ، بغض النظر عن تحمل اللوح لجهود القص .

وتتطلب المواصفات المصرية ألا يقل σ مك لوح الجذع في الكمرات عن القيم الآتية بالنسبة لعمق لوح الجذع (d) :

$$\sigma \leq \frac{d}{85} \text{ للفلود العادي}$$

$$\sigma \leq \frac{d}{75} \text{ للفلود عالي المقاومة}$$

والملاحظ أن هذه النسب عميقة في الكمرات الجاهزة (المالفنة) . أما الكمرات المبنية فيجب مراعاة هذه النسب مع ملاحظة أن العمق يكون ارتفاع الجذع في الكمرات الملحومة ويكون المسافة بين مراكز صفوف البراشيم في شفتي الكمرة المبرشمة .

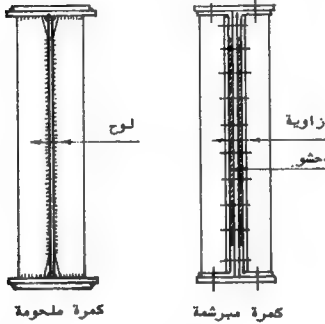


شكل (٦-٢٥)

هذا وإذا لم يتحقق شرط السمك المذكور في كمرة مبنية لزم سند الجذع جانبياً بمساند تسمى بالكزازات ، وهي تناظر القوائم في الكمرات الشبكية ، فهي عبارة عن ألواح تلحم بالجذع أو زوايا تبرشم فيه ، وتُحسب كأعمدة ذات طول تحنيط : $L_0 = 0.8 h$

أما القوى التي تحسب عليها الكزازات فهي كما يلي :
الكزازة عند الكرسي : تحسب على رد الفعل الكلي للكمرة .

الكزازة المتوسطة : تحسب على حمل يساوي $\frac{2}{3}$ قوة
القصر في موقعها .

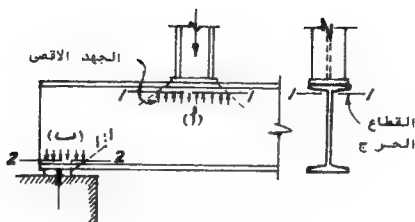


شكل (٦-٢٦)

وتكون الكزازة عند الكرسي متائلة بالنسبة للجذع ولا يشترط ذلك في
الكزازات المتوسطة .

التحنيب الراسي للجذع :

إذا حملت كمره فوق شفة الضغط بحمل مركز في مستوى الجذع فإنه
يحدث في لوح الجذع جهودا عمودية في الاتجاه الراسي (شكل ٦-٢٧) .



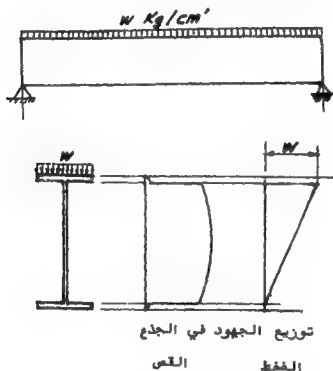
شكل (٦-٢٧) ضغط التحميل في الجذع

وتبدأ الجهود مركزة ثم تأخذ في التناقص كلما بعدنا عن مصدر الحمل حتى يتلاشى الضغط عند الشفة الأخرى وبمعنى آخر، فإن الحمل ينتشر في عرض أكبر من لوح الجذع ولكن الجهد الأكبر يكون عند انتهاء استدارة الجذع مع الشفة. وفي شكل (٦-٢٧) يكون المقطع ١-١ عند الحمل الخارجي المركز والمقطع ٢-٢ عند الحمل المنقول (رد الفعل) المركز. ويتوقف الشكل الذي يأخذه لوح الجذع عند حدوث التحنيب، كما يتوقف الجهد الحرج الذي يحدث عنده التحنيب، على طريقة سند الشفتين جانبياً عند موقع الحمل. كما يؤثر في ذلك الجهد طبيعة الحمل: إذا كان مركزاً أو موزعاً. (شكل ٦-٢٨).



شكل (٦-٢٨) احتمالات تحنيب لوح الجذع

ويكون جهد الضغط الناشئ عن حمل موزع بانتظام مساوياً لقيمة الحمل عند الشفة وينتهي إلى الصفر عند الشفة الأخرى (شكل ٦ - ٢٩) .
وقد أوضحت الدراسات أن عضو الضغط الذي يحمل حملاً موزعاً بانتظام بكامل طوله يقاوم حملاً حرجياً يساوي ثلث الحمل الذي يقاومه لو أن الحمل كان مركزاً بأكمله . فلكذلك الجذع يستطيع مقاومة حمل من أعلاه نصف الحمل الذي يضغطه عند كلتي الشفتين .



(شكل ٦ - ٢٩)

والجهد الحرج لجذع حمل عند كلتي الشفتين :

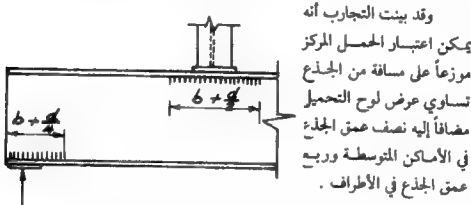
$$f_{\alpha} = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - m^2)} \left(\frac{l}{d} \right)^2 \quad (m = \text{Poisson's Ratio})$$

$$= 1900 \left(\frac{l}{d} \right)^2 \text{ t/cm}^2 \quad (6-18)$$

أما إذا كان الجذع محملاً بانتظام من أعلاه فقط فإن الجهد الحرج يتضاعف أي :

$$f_{cr} = 3800 \left(\frac{t}{d} \right)^2 \text{ t/cm}^2 \quad (6-19)$$

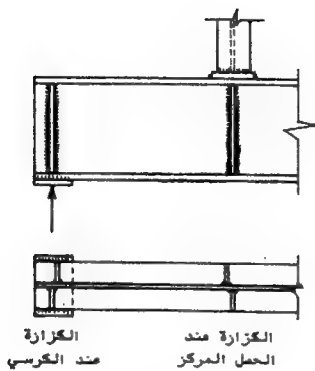
ويستخدم معامل أمان مناسب (نحو ٣) للحصول على الجهد المسموح به . أما توزيع الجهد الناشئ عن الحمل المركز في جذع الكمرية فيتوقف على عمق الكمرية ويتناسب مع ذلك العمق منتشراً على امتداد الجذع في مسافة تساوي العمق ويبلغ أقصاه عند أول الجذع ويتلاشى عند نهاية الجذع .



شكل (٦ - ٣٠)

وعندئذ تطبق عليه معادلات التحنيب المذكورة في الفقرة السابقة .

ويلاحظ أن تعرض الجذع لجهود عمودية ناشئة عن عزم حني يقلل من الجهد الحرج للتحنيب وإن كانت المواصفات لا تقر شيئاً في هذا الشأن على اعتبار أنه من المستحب في الكمرات المدلفنة ومن اللازم في الكمرات المبنيّة أن يزود الجذع بكمزازات عند مواقع الأحمال المركزة علاوة على تلك عند الركيزة .



شكل (٦-٣١)

الفصل السابع

الأعمدة

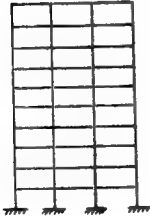
Columns

العمود هو ذلك الجزء من المنشأ الذي تنتقل إليه الأحمال والقوى التي تؤثر على ذلك المنشأ لينقلها بدوره إلى الأساس (أو إلى عضو آخر) .

والعمود - عادة - عضو رأسي متصل به أو ترتكز عليه كمرات الأسقف أو عمود من طابق آخر (شكل ٧ - ١) . وقد يتصل بالعمود كابولي أو أكثر (شكل ٧ - ٢) . كما قد يكون العمود منشأ قائما بذاته (شكل ٧ - ٣) .



أعمدة في مبنى قليل الارتفاع أحمال رأسية فقط

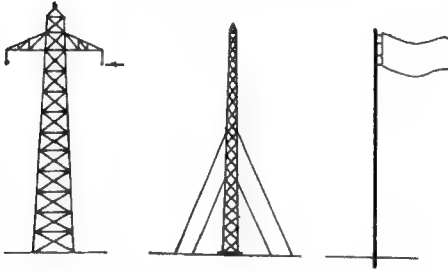


مبنى عال

شكل (٧ - ١)



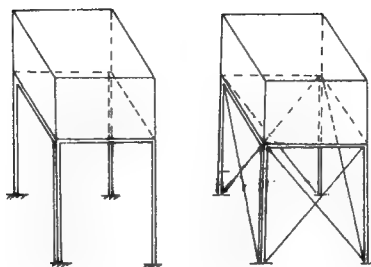
شكل (٧-٢) - أعمدة المظلات
معرفة لقوة رأسية وعزم حني



سارية علم هوائي تلفزيون برج نقل قوى كهربائية
عزم حني (أساسي) عزم حني (أساسي) قوة رأسية وعزم حني
وعزم لني

شكل (٧-٣) - أعمدة خاصة

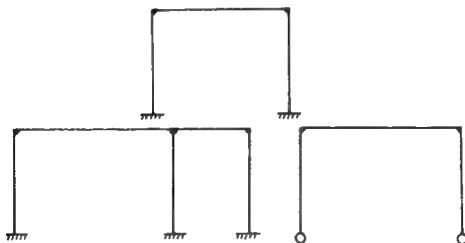
والعمود عضو ضغط ، وقد يتعرض لقوى شد في حالات خاصة ، ولكنه يتعرض في معظم الحالات - بالإضافة إلى الأحمال العمودية - لعزم حني مفرد أو لعزم حني مزدوج (شكل ٧ - ٤) أو لعزم لني .



أعمدة تحمل قوة رأسية أعمدة معرضة لعزم حني
في اتجاهين

شكل (٧-٤) أعمدة الصهاريج

وتنشأ تلك العزوم إما عن عدم تركيز الحمل أو الاحمال العمودية ، وإما عن قوة أو قوى مستعرضة بالنسبة لمحوره ، وإما عن اتصال جسيء فيما بين الكمرة والعمود كما هو الشأن في الإطارات (شكل ٧ - ٥) .



شكل (٧-٥) - أعمدة إطارات معرضة لقوة رأسية وعزوم حني

اختيار المقطع (Choice of Section)

مقدمة :

يتوقف اختيار مقطع عمود على العوامل التالية :

أولا - ماهية مسيات الجهد وقيمتها ونسبة أحد تلك المسيات إلى الآخر . ويمكن أن يتعرض العمود لواحد أو أكثر من المسيات الآتية :

- أ - حمل عمودي أو عدة أحمال عمودية مركزية (أو يفترض أنها مركزية)
- ب - حمل عمودي أو عدة أحمال ولكنها لا مركزية .
- ج - هزم حني مفرد أو مزدوج ناشئ عن أي مما يلي :
- قوة أو عدة قوى أفقية ، مركزة أو موزعة .
- حمل على كابولي .

- أن يكون العمود جزءا من إطار خشيء الوصلات .

د - هزم ليّ ناشئ عن قوة أفقية لا تمر بمركز العمود .

ثانيا - طول التحنيب في كل من المستويين اللذين يمران بالمحورين الرئيسيين لمقطع العمود . هذا ويتوقف طول التحنيب في اتجاه ما على ظروف نهايتي العمود بالنسبة لذلك الاتجاه ويتوقف كذلك على إمكان سند العمود جانبيا في أي من المستويين .

ثالثا - تكوين المقطع ، فقد يكون المقطع :

- عبارة عن عنصر واحد (المقطع الجاهز أو المدلفن) .

- مكونا من عدة عناصر تربط معا (المقطع المبني) ،
وعندئذ يتأثر المقطع بالطريقة التي تربط بها عناصر العمود .

رابعا - الحيز الذي يمكن أن يشغله العمود ، أي اتساع مقطع العمود .
التحليل :

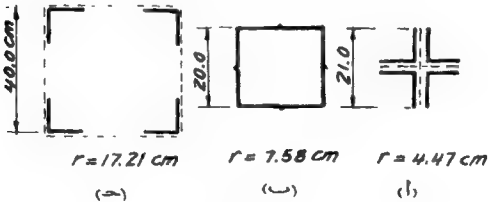
رغم تعدد العوامل التي أوضحنا أنها تؤثر في اختيار مقطع العمود فإنه لا يمكن فصلها بعضها عن بعض بل يقتضي التصميم أخذها جميعا في الاعتبار .

ولما كان العمود - عادة - عضو ضغط فإن الجهد المسموح به على مقطعه « σ_{ad} » يتوقف على نسبة نحافة العمود « $\frac{L_0}{r}$ » الأكبر حول أي من محوري مقطعه ، وهذه بدورها مكونة من عنصرين :

- طول التحنيب L_0 وهو يتوقف على وضع العمود في المنشأ وعلى ظروف نهايته ثم على النقط التي يستند فيها العمود أو يمكن سنده فيها - ويجب تحديد ذلك الطول في كل من مستويي المحورين الرئيسيين لمقطع العمود .

- نصف قطر عطالة المقطع « r » حول كل من محوري المقطع الرئيسيين . ولا تتوقف قيمة r على مساحة المقطع بقدر ما تتوقف على شكل المقطع وعلى توزيع أجزائه (عناصره) بالنسبة للمحورين الرئيسيين للمقطع وعلى الأخص تباعد تلك العناصر عن هذين المحورين .

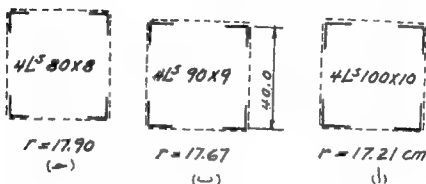
توضح المقاطع الثلاثة المبينة بشكل (٧-٦) . كيف تتأثر قيمة r بهذا التباعد .



شكل (٧-٦)

فكل من المقاطع الثلاثة مكون من $10 \times 100 \times 4 \text{ L}^*$ وواضح كيف أن تباعد المادة عن المحورين قد رفع قيمة r من ٤,٧٧ سم إلى ١٧,٢١ سم . وتزداد قيمة r كلما زاد التباعد .

فإذا احتفظنا بالانسياع ٤٠ سم وتغيرت الزوايا الأربع نجد أن r للزوايا الصغيرة أكبر منها للزوايا الكبيرة . ويرجع هذا إلى تباعد مادة الزوايا الصغيرة عن مركز المقطع .



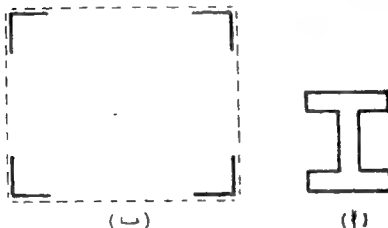
شكل (٧-٧)

وهذه الزيادة وإن تكن طفيفة ، إلا أنها تفيد التصميم في إمكان تنحية r جانبا (بصفة مؤقتة) واختيار المساحة اللازمة . فإذا عُلِّمت نسبة تقريبية بين اتساع المقطع ونصف قطر المعطالة كان ذلك عاملا مساعدا في التصميم .

فإذا ما تعرض العمود لعزم حني ، كان العامل المهم هو معايير المقطع « Z » وهذا بدوره يتأثر بعمق المقطع وتباعد مادته عن المحور الذي يؤثر حوله عزم الحني ، حيث أن معايير المقطع يساوي مساحة مضروبة في مسافة ، وبذلك يكون لكلا المقدارين تأثير على قيمة « Z » .

فما تقدم يتضح أن لاتساع العمود تأثيرا على المساحة المطلوبة لقطعه سواء أكان العمود معرضا لحمل عمودي أم لعزم حني ، أم لحمل عمودي مصحوب بعزم حني .

إلا أن زيادة أبعاد المقطع ، ولا سيما المقلع المبني ، ليست دون حدود ، إذ يجب أن يؤخذ في الاعتبار الحيز الذي سوف يشغله العمود من المنشأ ، فإذا كان الحيز محدوداً لزمّت التضحية ببعض المادة . فمثلاً المقطع (ب) شكل (٧ - ٨) المحدود المقاس وذو الأسلاك الكبيرة يستخدم في أعمدة المباني العالية ، بينما المقطع (ب) يستخدم لأعمدة المصانع والمخازن ونحوها .



شكل (٧ - ٨)

وبمقارنة مقطع جاهز لعمود بمقطع مبني نجد أن المقطع المبني أخف وزناً ، إلا أن جزءاً من الوفرة في التكاليف يضيع للأسباب التالية :

١ - الجهد المسموح به للمقطع المبني أقل من الجهد المسموح به للمقطع الجاهز، وذلك يقتضي زيادة في المادة .

٢ - إنه يجب ربط عناصر العمود المبني بشرائط أو ألواح حتى تعمل معاً في مقاومة مسببات الجهد ، كما يلزم تحديد طول التحنيب للعنصر المنفرد . ويزداد طول الأربطة كما يكبر مقطعها كلما اتسع العمود . ويتأثر الجهد المسموح به في العمود المبني بطريقة الربط . فهو في العمود المربوط بشرائط أكبر منه في العمود المربوط بالواح .

٣ - العمود المبني أكثر تكلفة في العمالة .

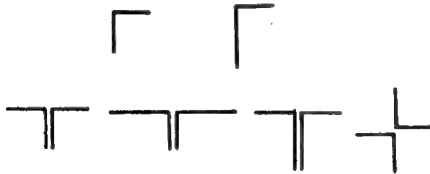
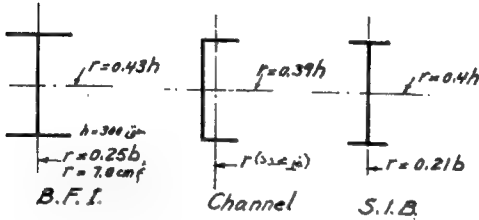
إلا أننا كثيراً ما نلجأ لاستعمال المقاطع المبنية بسبب عدم توافر المقاطع الجاهزة بالسوق .

المقاطع المستعملة في الأعمدة

نما يلي المقاطع المختلفة المستعملة في الأعمدة مع بيان قيم تقريبية لأنصاف أقطار العطالة حيث أن تلك القيم ضرورية للتصميم واختيار المقطع الملائم .

أولاً - المقاطع الجاهزة :

وهي المقاطع المدلفنة التي تستعمل كما هي دون تغيير في مقاساتها .



الزاوية والزواويتان سبق بيان خصائصها بوصفها أمعاء فقط
شكل (٧ - ٩)

ثانيا - المقاطع المبنية :

وهذه المقاطع يكونها المصمم من مقاطع مدلفنة لتأخذ المقاسات أو الأشكال التي تلائم التصميم :

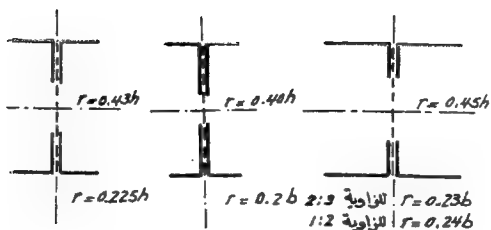
أ - مقاطع على شكل Δ ، وتأخذ أحد الأشكال الآتية :

- ٤ زوايا ، متساوية أو غير متساوية ، وقد تكون الزوايا منفصلة أي مربوطة بشرائط أو ألواح رباط ، وقد تكون متصلة أي مربوطة بلسج جذع مستمر . وقد يضاف إلى المقطع لوح أو أكثر عند كل شفة (شكل ٧ - ١٠) .

ملحوظة : في جميع الحالات : h هو ارتفاع أو عمق المقطع و b هو عرضه .

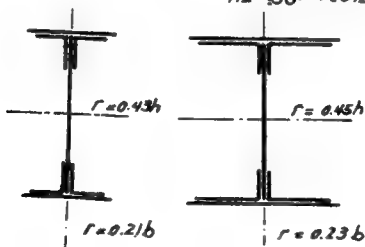
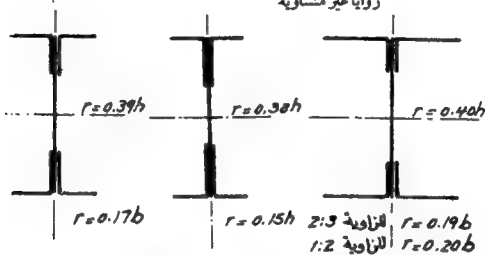
- كمرتان مجرة متظاهرتان مع ألواح حل الجذع أو ألواح حل الشفتين (شكل ٧ - ١١) .

- كمرات ١ ، عادية أو عريضة الشفة ، مع لوح أو أكثر عند كل شفة (شكل ٧ - ١٢) .

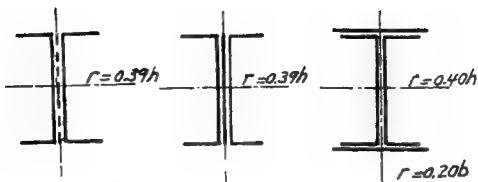


زوايا متساوية

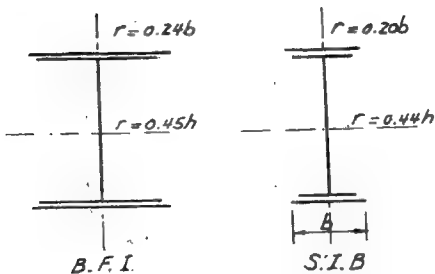
زوايا غير متساوية



شكل (٧-١٠)



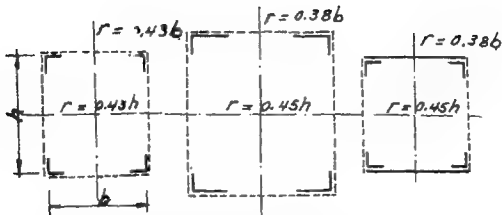
شكل (١١ - ٧)



شكل (١٢ - ٧)

ب - المقاطع الصندوقية - وتأخذ أحد الأشكال الآتية :

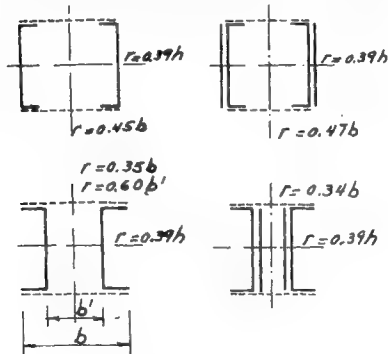
٤ - زوايا متساوية أو غير متساوية ، وقد تكون منفصلة ، أي مربوطة بشرائط أو ألواح ربط ، وقد تكون متصلة أي مربوطة بالواح مسمرة سواء في اتجاه واحد أم في الاتجاهين . شكل (١٣ - ٧) .

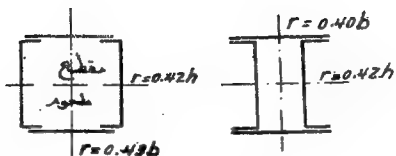


شكل (٧-١٣)

ولا يكون المقطع الصندوقي المكون من ٤ زوايا دائيا مربعا ولكن اختيار مقاس كل من ضلعيه يتوقف عل احتياجات التصميم فهو بذلك يمكن أن يكون أكثر المقاطع اقتصادا .

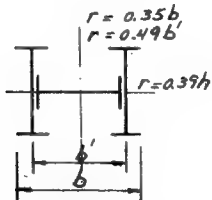
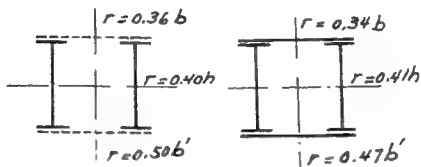
- مقطعان مجرة ، اما متظاهران أو متقابلان ، وقد يضاف إلى كل منها لوح أو أكثر ملاصقا للجذع وتربط المجرتان إما بشرائط وإما بالواح ربط ، كما قد يضاف لوحان مستمران يربطان المجرتين (شكل ٧-١٤) .





شكل (٧-١٤)

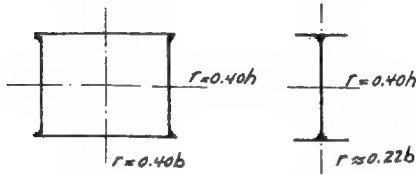
- مقطعان I، عادية أو عريضة الشفة، مربوطان بشرائط أو بالواح ربط، كما قد يضاف لوحان مستمران على الشفاه.



شكل (٧-١٥)

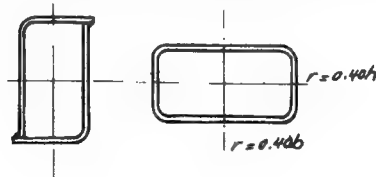
ثالثاً - المقاطع الملحومة :

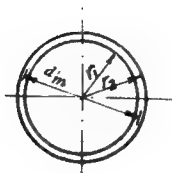
أي من المقاطع المبنية السابق بيانها يمكن أن توصل أجزاؤها بواسطة اللحام ، إلا أن هناك مقاطع لا تكون إلا ملحومة وهي صنفان :
- مقاطع مبنية ، وتكون على شكل \bar{I} أو تكون صندوقية (شكل ٧ - ١٦) .



وتمتاز هذه المقاطع بأن للمصمم كل الحرية في اختيار مقاسات وأساك الألواح التي تحقق مطالب التصميم . وبذلك قد تضاف ألواح أخرى على الشفتين وعلى جوانب الصندوق ، إلا أن المفضل - ما دام ذلك ممكناً - استخدام ألواح أكثر سبابة .

- المقاطع الأنبوبية ، وهي مقاطع جامزة لا تستعمل إلا في المنشآت الملحومة ، والمقاطع الأنبوبية إما مستديرة وإما صندوقية (شكل ٧ - ١٦ ، ب) كما يمكن عمل مقطع أنبوبي عن طريق اللحام (شكل ٧ - ١٦ - ح) .





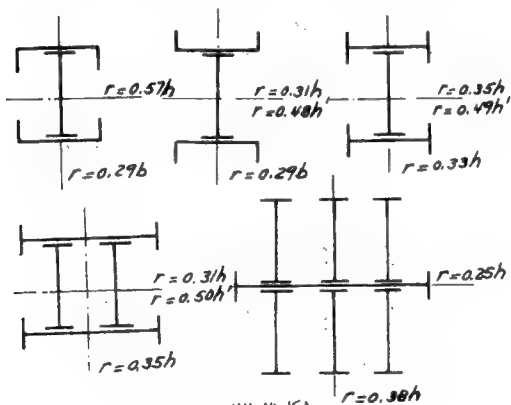
$$r = 0.35 d_m \text{ (القطر المتوسط)}$$

$$= 0.5 \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

شكل (٧ - ١٦)

رابعاً - المقاطع المركبة :

وتتكون من عدة مقاطع جاهزة (شكل ٧ - ١٧) الغرض منها زيادة مساحة المقطع ، بالإضافة إلى زيادة جسائته ، مع قلة تكلفة التشغيل .



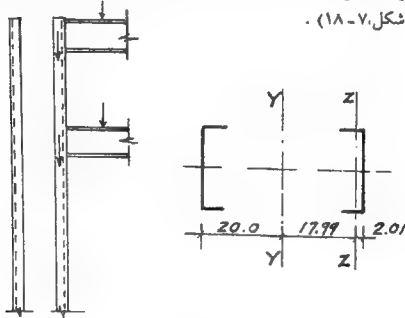
شكل (٧ - ١٧)

المقطع الجاهز مقابل المقطع المبني :

في الحالة البسيطة وهي حالة العمود المحمل محورياً نجد أن المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{cc}} \quad (7-1)$$

تحتوي مجهولين هما المساحة المطلوبة A_{req} وجهد التحنيب المسموح به f_{cc} ، وهذا يتوقف على نسبة نحافة المقطع، وهي بدورها تتوقف على نصف قطر العنطة للمقطع e وكلا المقدارين e و A من خصائص المقطع . ولكن هل يستوي في الاختيار المقطع الوحيد مع المقطع المكون من أجزاء منفصلة ؟ لقد سبق أن أشرنا إلى أن عضو الضغط المكون من عنصرين لا يتصلان ببعضهما ببعض اتصالاً مستمراً عرضة لحدوث تحنيب موضعي لكل عنصر على حدة ، وكذلك الحال في العمود . إضافة الى ذلك فإن تحميل عمود تحميلاً جانبياً حالة كون عناصره منفصلة يجعل الحمل مؤثراً على بعض العناصر دون الأخرى (شكل ٧-١٨) .



شكل (٧-١٨)

والعناصر المنفصلة ، حتى لو وُزِعَ الحمل بينها بالتساوي ، ليس لأي عنصر منها القدرة على مقاومة نصيبه من الحمل. حيث إن عزم العطالة للمقطع الكامل أكبر بكثير من عزم عطالة العنصر المنفرد ، وعندما يكون طول التحنيط في الحالين واحداً تكون نسبة النحافة للعمود بأكمله أصغر بكثير من نسبة النحافة للعنصر المنفرد كما يتضح من المثال التالي :

مثال (٧ - ١) - عمود طول التحنيط فيه 10.00 m مقطعه مكون من مجرتين 2×200 ، $(A = 2 \times 32.2\text{ cm}^2)$ متواجهتين تتباعدان 40.0 cm نجد أن :

$$r_z = 2.14\text{ cm} \quad \text{نصف قطر عطالة المجرة المنفردة}$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{1000}{2.14} = 467 \quad \text{نسبة النحافة} :$$

$$r_y = \sqrt{(2.14)^2 + (17.99)^2} = 18.0\text{ cm} \quad \text{نصف قطر عطالة مقطع العمود} :$$

$$\frac{L_y}{r_y} = 55.6 \quad \text{نسبة النحافة}$$

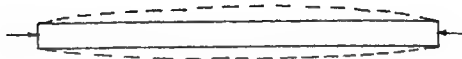
ويكون الجهد المسموح به للعنصر منفرداً $f_{ob} = 32\text{ Kg/cm}^2$ ومقدرة العنصر 1030 Kg

والجهد المسموح به للعمود بأكمله $f_{ob} = 1115\text{ Kg/cm}^2$ ومقدرة العنصر 33.200 Kg

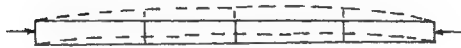
(بفرض ارتباط العنصرين بكامل طول العمود) .

أي أن مقدرة العنصر المنفرد لا تصل إلا لنحو ٣٪ من مقدرة عندما يعمل مع العنصر الأخر سويّاً . هذا علاوة على أن نسبة نحافة العنصر المنفرد (467 في هذا المثال) غير مقبولة إطلاقاً .

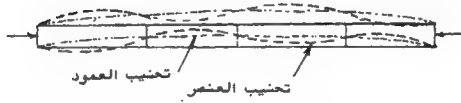
بلاحظ أنه بسبب التحنيط الموضعي للعنصر المنفرد الذي يرتبط مع الآخر أو العناصر الأخرى على مسافات معينة ، ترتفع نسبة النحافة للعمود وينخفض الجهد المسموح به تبعاً لذلك ، (شكل ٧ - ١٩) .



عناصر متصلة

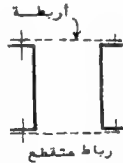
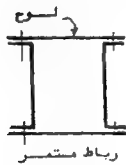


عناصر متصلة (مربوطة)



شكل (٧-١٩) التحنيط الموضعي للعناصر

وإذا ربطت عناصر العمود ربطاً مستمراً كان ذلك الرباط جزءاً من العمود ولم يعد العمود منفصلاً . (شكل ٧-٢٠) .



شكل (٧-٢٠)

وإنما تربط العناصر بعضها ببعض في نقاط على مسافات متساوية (في الأغلب) وبذلك تعمل العناصر سوياً . ولكن هذا الرباط لا يمنع حدوث

تخنيب للعنصر فيما بين نقط الربط ، أي التخنيب الموضعي ، إضافة إلى تخنيب العمود بأكمله .

وبذلك يكون العمود المكون من عناصر متعددة مربوطة أقل مقدرة على مقاومة الأحمال مما لو كانت العناصر متصلة بعضها ببعض اتصالاً مستمراً . ويمكن الإعراب عن ذلك في اختيار المقطع بتقليل جهد التخنيب المسموح به للعمود المكون من عناصر منفصلة مربوطة ، وهذا يعادل زيادة نسبة نحافته . كما تتوقف زيادة نسبة النحافة على الطريقة التي تربطها العناصر فهي أكبر في حالة الربط بالواح منها في حالة الربط بالشرائط ، كما سيأتي تفصيله .

وسائل ربط عناصر العمود

١ - الشرائط (Lacing bars) :

الشرائط عبارة عن عنصر محدود العرض يصل بين عنصري العمود ويكون عادة مائلاً على محوره بحيث تكون الأربطة نظاماً شبكياً . وهذا قد يكون نظام (W) دون قوائم أو نظام (W) ذا قوائم ، أو نظام (X) أي مجموعتان من طراز (W) متقاطعتان . شكل (٧ - ٢١) ويحدد اختيار النظام الطول الحر للعنصر الذي يحقق شرط المواصفات .

٢ - ألواح التقوية (Batten Plates) :

وهي أربطة جسيئة تتعامد مع محور العمود ، ويتوفر لها من الطول ما يجعل وصلاتها بعناصر العمود جسيئة مما يجعلها ، عند مقاومتها لتخنيب العنصر ، عرضة لحدوث عزم حتي فيها ناشيء عن عدم مقدرة العنصر على الدوران بحرية عند موقع اللوح ، فيحدث في العنصر عزم حتي ينتقل بدوره إلى اللوح . ومن هنا يظهر الفرق بين الأشرطة والواح الربط ، حيث أن وصلات الأشرطة تعتبر مفاصل فهي بالتالي لا تمنع العنصر من الدوران (شكل ٧ - ٢٢)

شريط الشد أن يقاوم كل قوة القص (شكل ٧ - ٣٠) وتكون :

$$S_0 = + \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad \text{شكل (د)} \quad (7-7)$$

وهذا لا يعني الاستثناء عن شريط الضغط حيث إن القوى الأفقية تكون دائماً منمكة فيها كان من الأشرطة معرضاً لضغط يصبح معرضاً لشد ويتعرض شريط الشد لضغط فلا يعمل .

٢ - طول التحنيط :

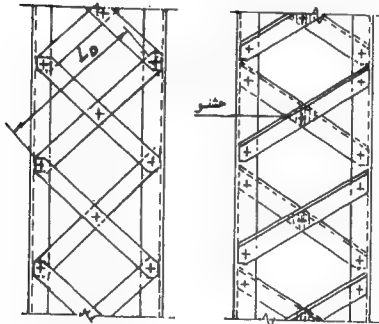
يجب طول التحنيط للشريط نسبة من طوله الحر أي من الطول بين

نقط الربط :

- في النظام ذي المجموعتين المتقاطعتين من الأقطار ، (شكل ٧ - ٣١) :

١ - في مستوى النظام : $L_0 = 0.5L_0$

٢ - عمودياً على مستوى النظام $L_0 = 0.75L_0$

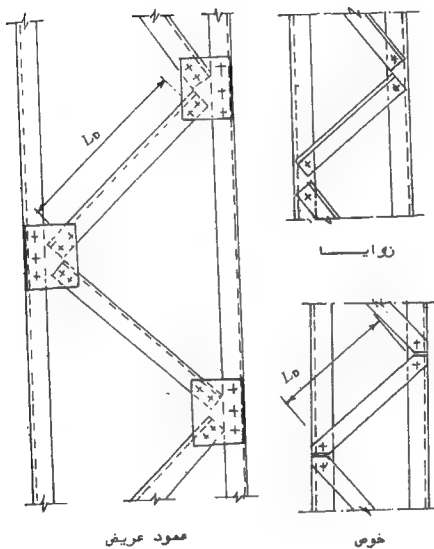


خوص

زوايا

شكل (٧-٣١) نظام الأشرطة المتقاطعة

- في النظام ذي المجموعة الواحدة من الأقطار: $L_D = L_D$



شكل (٧-٣٢)

٣- اختيار المقطع:

- يفضل ألا يتغير مقطع الشريط على طول العمود.
- يكون ميل الشريط على محور العمود:

هل منحني التحنيط فيقلل من احتمال حدوثه . ولما كان اللوح عند النهاية هو الذي يتعرض لتشوه أكبر ، فمن هنا تظهر فاعليته في مقاومة التحنيط .

كما يتضح أن اللوح الذي في المنتصف تماماً يكون غير ذي فاعلية إذ لا يحدث به تشويه ، كما يتضح أنه كلما زاد طول اللوح زاد تأثيره .

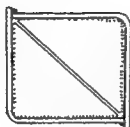
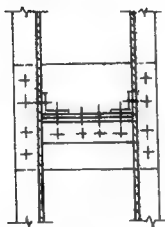
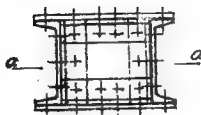
٢ - تحمل عناصر العضو تعمل معاً في مقاومة الأحمال والقوى التي تؤثر على العمود ، ولهذا يجب تزويد عضو الضغط بالواح تقوية عند كل من نهايه وكذلك عند النقط التي تؤثر فيها الأحمال والقوى .

٣ - ألواح التقوية عند النهايتين تمنع حدوث تشوهات في المقطع الصندوقي بسبب التحميل غير المتكافئ .

والفقرتان الثانية والثالثة تبرزان السبب الذي من أجله يجب أن يزود عضو الضغط المربوط بشرائط ، بالواح تقوية عند نهايته ، وعند نقط تأثير الأحمال والقوى عليه .

الأحجبة (Diaphragms) - (تُطلق ديافرام)

الحجاب هو لوح يربط عناصر المقطع الصندوقي لعضو الضغط بحيث يكون عمودياً على محور العضو ، ويوضع عند ألواح التقوية (شكل ٧ - ٢٥) والفرس منه حفظ الشكل الربيع للصندوق وذلك عندما يخشى من تعرض عضو الضغط لالتواء . ويكفي أن يزود عضو الضغط بحجابين من هذا القبيل .



قطاع a-a

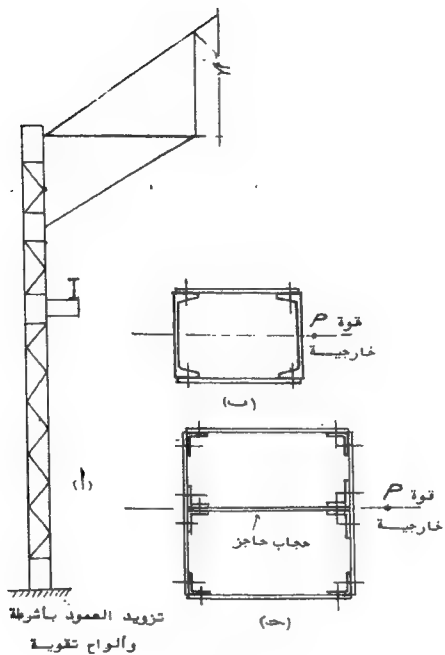
١ - مقطع مبهرشم

ب - مقطع ملحوم

شكل (٧-٢٥) الحاجز في المقطع الصندوقي

وعمل هذا ، سواء أكانت العناصر مربوطة بالواح أم بأشرطة، فمن اللازم أن يزود العمود بالواح رباط عند كل من نهايتيه وكذلك عند جميع النقاط التي يتعرض فيها العمود لمؤثرات خارجية سواء أكانت قوى عمودية أم قوى أفقية أم عزوم حني . وذلك ضماناً لاشتراك جميع عناصر العمود في مقاومة تلك المؤثرات (شكل ٧-٢٦) .

هذا وقد يقتضي الأمر إضافة حجاب جسيء في محور العمود يربط عصريه و يربط لوحى تقوية ، ولا سيما عندما تكون القوة غير مركزية بدرجة كبيرة ينشأ عنها عزم حني كبير على العمود (شكل ٧-٢٦ ح) .



شكل (٧-٣٦)

اللوائح الخاصة بربط العناصر

نظراً لما أشرنا إليه من تعرض العناصر المنفصلة للعمود لتحنيب موضعي حول محورها الضعيف عند ربط العناصر بأشرطة كما تتعرض العناصر إضافة لذلك التحنيب إلى عزوم حني موضعية عند ربطها بالواح تقوية ، فإن ذلك يستدعي تخفيض الجهد المسموح به للعمود المنفصل عما لو كانت العناصر متصلة اتصالاً مستمراً بكامل ارتفاع العمود .

ويعوض عن تخفيض الجهد المسموح به بأن ترفع قيمة نسبة النحافة . وتنص المواصفات المصرية على ما يلي :

١ - في العمود المكون من عدة عناصر شكل (٧ - ٢٧) ، يفصلها المحور $y-y$ ، تعدل نسبة النحافة $\frac{L_y}{r_y}$ بحيث تستبدل بها قيم λ_y التالية :

١ - العمود المربوط بأشرطة :

$$\lambda_y = \sqrt{\left(\frac{L_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{L_z}{r_z}\right)^2} \quad (7-2)$$

٢ - للعمود المربوط بالواح تقوية :

$$\lambda_y = \sqrt{\left(\frac{L_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{1.25 L_z}{r_z}\right)^2} \quad (7-3)$$

وفيها L_z = الطول الحر للعنصر بين نقط الربط .

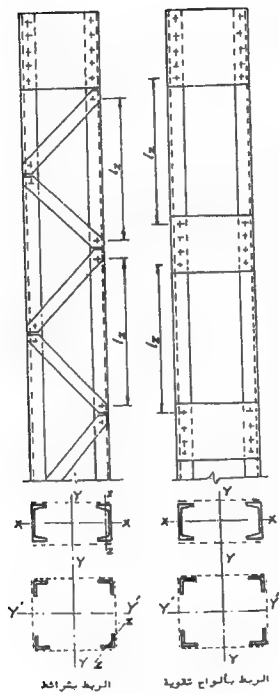
r_z = نصف قطر العطالة الأصغر لمقطع العنصر .

و $\frac{L_y}{r_y}$: نسبة نحافة العمود فيها لو كان وحدة واحدة .

أما إذا كان عنصراً عموداً متصلين حول محور آخر مثل $x-x$ فإن نسبة النحافة حول ذلك المحور لا تتغير .

- يجب ألا تزيد نسبة نحافة العنصر $\frac{L_z}{r_z}$ على $\frac{2}{3} \frac{L_y}{r_y}$ وبحيث لا تزيد

عن ٥٠ أي :



شكل (٧ - ٢٧)

$$\frac{L_z}{r_z} \geq \frac{2}{3} - \frac{L_y}{r_y} \geq 50 \quad (7-4)$$

- يمكن الاستغناء عن حساب ألواح التقوية باستعمال القيم التالية :

١ - الألواح عند نهايتي العمود :

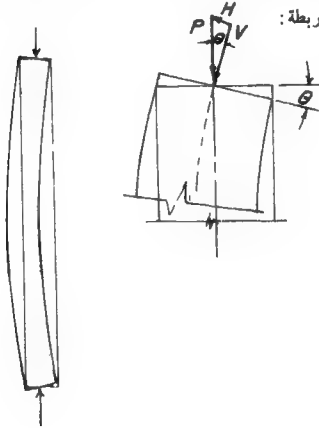
طول اللوح = $\frac{1}{4}$ عرضه بين خطوط الرباط.

٢ - الألواح المتوسطة :

طول اللوح = $\frac{3}{4}$ عرضه بين خطوط الرباط.

- يجب ألا يقل سمك لوح التقوية أو خوصة الرباط عن $\frac{1}{40}$ من طوله
الحر بين نقط الرباط.

حساب الأربطة :



شكل (٧-٢٨) تحنيط العمود

عندما تؤثر قوة محورية قدرها P على عمود فإنها تنسب ، في حدوث
 منحني ، ينشأ عنه أن يميل مقطعه على وضعه الأصلي بزاوية صغيرة جداً قدرها
 θ . وبتحليل القوة P إلى مركبتها V العمودية على المقطع و H الواقعة في
 مستواه :

$$V = P \cos \theta \approx P$$

$$H = P \sin \theta$$

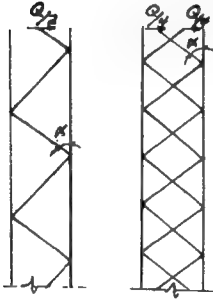
وقد قدرت المواصفات القوة الموازية للمقطع :

$$H = 0.02 P$$

وباعتبار أن هذه القوة عمودية على محور العمود فإن الأربطة ،
 الأشرطة والأواح التقوية ، تحسب لتقاوم هذه القوة ، إضافة إلى القوى الأخرى
 الخارجة التي قد تؤثر على العمود في الاتجاه العرضي .

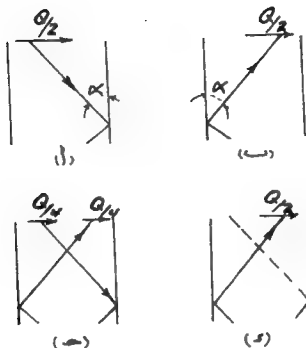
أولاً - حساب الأشرطة :

١ - حساب القوة : إذا كان
 مجموع القوى الأفقية بما فيها $0.02P$
 يساوي Q فإن القوة في كل جانب
 مزود بأشرطة تساوي $\frac{Q}{2}$. وتكون
 القوة في الشريط كما يلي .



شكل (٧ - ٢٩)

- في النظام ذي المجموعة
 الواحدة من الأقطار (شكل ٧ - ٢٩) ، تحسب القوة كما هو مفصل في
 شكل (٧ - ٣٠ أ و ب)



شكل (٧-٣٠)

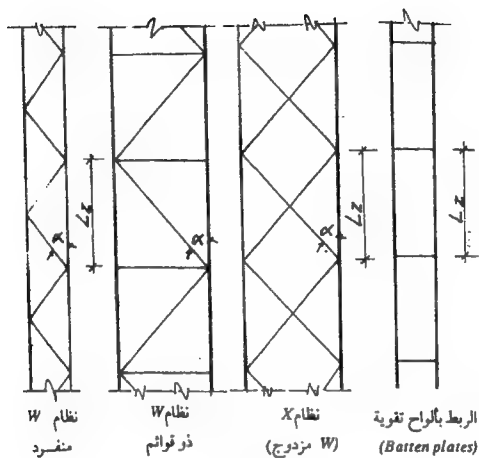
$$S_0 = - \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad \text{شكل (٦)} \quad (7-5 a)$$

$$S_0 = + \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad \text{شكل (ب)} \quad (7-5 b)$$

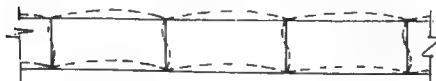
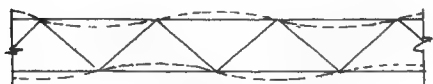
- في النظام ذي المجموعتين من الأقطار (شكل ٧- ٢٩ ب) ، يمكن حساب القوة بإحدى طريقتين : أن يكون كلا القطرين المتقاطعين عاملاً ، أي أنها يشتركان في مقاومة قوة القوس (شكل ٧- ٣٠ حـ) وتكون :

$$S_0 = \pm \frac{Q}{4 \sin \alpha} \quad \text{شكل (حـ)} \quad (7-6)$$

أن يفترض أن الشريط الذي يتعرض لقوة ضغط غير قادر على مقاومة تلك القوة فيحدث له انحناء ولا يعود عاملاً ، فإنه في هذه الحالة يتطلب من

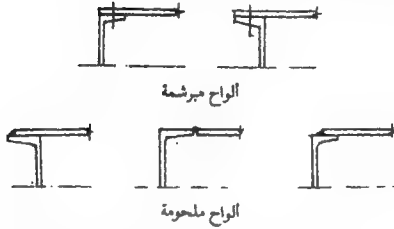


شكل (٧-٢١)



شكل (٧-٢٢) التحنيط الموضعي لعناصر العمود

وقد تكون الألواح مبرشمة أو ملحومة (شكل ٧ - ٢٣)



شكل (٧ - ٢٣) - ألواح التقوية للمقطع الصندوقي

مميزات ألواح التقوية

إضافة إلى تقليل طول التحنيب لعناصر العمود ، الأمر الذي تشاركها فيه الأربطة ، فإن ألواح التقوية تؤدي الأغراض التالية لأعضاء الضغط بصفة عامة



شكل (٧ - ٢٤) - تشوه ألواح التقوية

١ - تقاوم التحنيب ، فإنه إذا تعرض عمود مزود بألواح تقوية لتحنيب بحيث يريد أن يأخذ المنحنى المعتاد ، فإن ألواح التقوية المستطيلة الشكل تأخذ شكل متوازي أضلاع (شكل ٧ - ٢٤) . ولما كانت تلك الألواح جساءة في مستواها فإنها بلا شك تقاوم الانحراف إلى ذلك الشكل : وهذا من ثم يؤثر

أ - في النظام ذي المجموعة الواحدة من الأقطار $\alpha = 20^\circ - 40^\circ$

أ - في النظام ذي المجموعتين المتقاطعتين من الأقطار $\alpha = 40^\circ - 50^\circ$

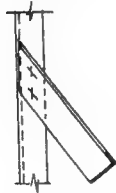
- يجب ألا تزيد نسبة النحافة على ١٨٠ .

المقاطع المستخدمة في الشرائط:

الزاوية: متساوية أو غير متساوية حيث يمكن أن تتسع رجلها الطويلة لمسارين .



المجرة : بحيث يتسع
جذعها لمسارين (شكل ٧ - ٣٣)



شكل (٧ - ٣٣)

الخصوة : وهي أضعفها
في مقاومة الضغط حيث أن نسبة
النحافة لمقطعها المستطيل غير

$$r = \frac{f}{\sqrt{12}}$$

اقتصادية حيث ،
إلا إذا استخدمت في النظام ذي
الأقطار المتقاطعة ، حيث تعمل
في الشد ، وعندئذ يُفقد جزء من
مقطعها بسبب ثقب المسار ، ما
لم تربط باللحام .

ويجب ألا يقل سمك الخصوة عن

$$\frac{1}{40} \text{ من طولها الحر.}$$

ثانياً - حساب الألواح .

سبق أن ذكرنا أن اتصال اللوح بالعضر إنما هو اتصال جسيء بحيث يتسبب مع حدوث عزم حثي في اللوح . فإذا كان Q مجموع القوى الأفقية التي تؤثر على العمود شاملة $0.02P$ وهي تعمل عمودياً على محور العمود تكون القوة على كل جانب مزود بالواح تساوي $\frac{Q}{2}$ ، لكن يلاحظ أن القوة الأفقية $0.02P$ لا يتزايد تأثيرها عند حساب القوى الرأسية في العناصر ، بعكس القوى الأفقية الخارجية .

ولحساب مؤثرات الجهد ، يُفصل من النظام إطار على شكل حرف (H) مزود بخمسة مفاصل وتكون القوة الأفقية عند كل مفصل في القائمين $\frac{Q}{4}$. ونحسب القوة الرأسية بمساواة عزم القوى الأفقية بعزم القوى الرأسية . ويكون عزم الحثي في كل من جزأي العمود :

$$M_1 = \frac{Qh}{8} \quad (7-8)$$

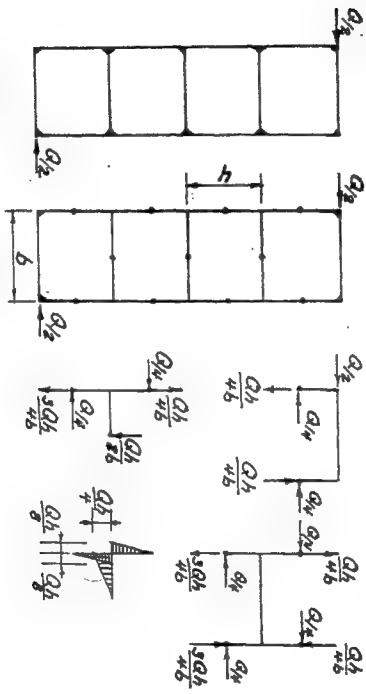
ويكون عزم الحثي في طرف لوح التقوية :

$$M_2 = \frac{Qh}{4} \quad (7-9)$$

كما تؤثر على اللوح قوة قص :

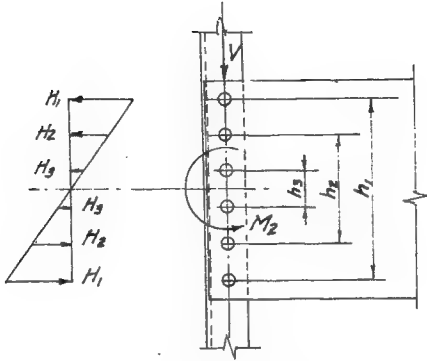
$$V = \frac{Qh}{2b} \quad (7-10)$$

وعلى هذا يحسب لوح التقوية ليقاوم عزم حثي مقداره $\frac{Qh}{4}$ ونحسب وصلته لتقاوم عزم الحثي نفسه وكذلك قوة قص مقدارها $\frac{Qh}{2b}$. وعند مراجعة الجهود في لوح التقوية نجب ملاحظة ما قد يفقد من المقطع بسبب ثقب البراشيم .



النظام الاستاتيكي
النظام الانشائي
المعامل = السجهيل
شكل (٧-٣٤)

حساب الوصلة المبرشمة :



شكل (٧-٣٥)

توضع البراشيم على مسافات متساوية ، وتناسب القوى فيها الناشئة عن عزم الحني مع بعدها عن مركز المجموعة . فإذا كانت القوة في المسار

$$H_1 \text{ كانت في المسار الذي يليه } H_1 \times \frac{h_2}{h_1} \text{ والذي يليه } H_1 \times \frac{h_3}{h_1}$$

وبمساواة عزم مقاومة البراشيم بالعزم الخارجي نحصل على القوة الأفقية التي تؤثر على المسار الأقصى من المعادلة التالية :

$$M_2 = H_1 \times h_1 + H_1 \times \frac{h_2}{h_1} \times h_2 + H_1 \times \frac{h_3}{h_1} \times h_3 .$$

$$= \frac{H_1}{h_1} (\sum h^2) \quad (7-11)$$

ونفترض أن نفرض مقياساً للوح التقوية وليكن نحو $\frac{1}{4}$ عرضه ونفرض

عدداً من البراشيم (n) ثم نحسب من المعادلة السابقة قيمة القوة الأفقية H_1 أما القوة الرأسية V فإنها توزع بالتساوي على البراشيم أي أن $V_1 = \frac{V}{n}$ ثم نحسب محصلة القوتين H_1 ، V_1 . ويجب ألا تتجاوز هذه المحصلة مقدرة المسار في القص المفرد أي:

$$\sqrt{(H_1)^2 + (V_1)^2} \leq R_{a.s} \quad (7-12)$$

وتحتوي هذه المسألة متغيرات عدة : مقياس اللوح وخطوة البراشيم ثم قطر المسار . وبلي حساب الوصلة التحقق من الجهد في مقطع اللوح باعتبار المقطع الصافي .

حساب الوصلة الملحومة :

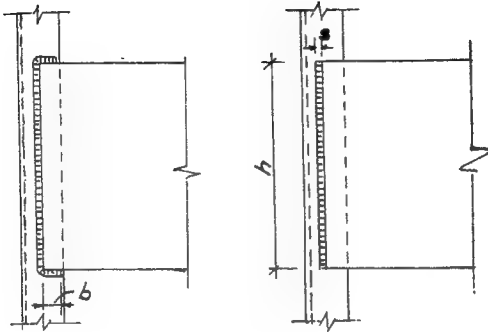
نبدأ بفرض سمك لوح التقوية بأن يكون نحو $\frac{1}{8}$ من عرضه بين خطي اللحام ، وبذلك نحدد قيمة s التي يجب ألا تتجاوز سمك اللوح .

ولحساب الارتفاع h . بعد فرض قيمة s نجد أن هناك سطحين للحام الأول السطح الملاصق لعنصر العمود والثاني السطح الملاصق للوح التقوية .

١ - تؤثر على السطح الملاصق لعنصر العمود جهود أفقية ناشئة عن عزم الحني M_2 وجهود رأسية ناشئة عن القوة الرأسية V وكلاهما جهد قص واقع في ذلك المستوى ، ويمكن إيجاد قيمة تقريبية للارتفاع h من المعادلة :

$$q_H = 0.4 f_{s1} = \frac{M_H}{sh^2/6} \quad (7-13 a)$$

باعتبار جهد القص المسموح به لمادة اللحام ، ثم تزداد هذه القيمة لمقابلة



شكل (٧-٣٦)

الزيادة في الجهد الناشئة عن القوة الرأسية V ، التي توزع بانتظام على مساحة اللحام ، من المعادلة :

$$q_v = \frac{V}{s \times h} \quad (7-13 \text{ b})$$

ويعاد حساب q_H ثم تحسب محصلة جهدي الفص للتحقق من أنها لا تتجاوز الجهد المسموح به للحام الزاوي ..

$$\sqrt{(q_H^2) + (q_v^2)} \geq 0.4 f_{ot} \quad (7-13)$$

٢ - تؤثر على السطح الملاصق للوح التقوية جهود عمودية ، جهود شد في

نصفه العلوي وجهود ضغط في نصفه السفلي ناشئة عن عزم الحني M_2 وبحسب الجهد الأقصى في الألياف العليا والسفلى من المعادلة السابقة نفسها:

$$f = \pm \frac{M_{2.6}}{sh^2} \quad (7-14a)$$

كما تؤثر على السطح جهود قص موزعة بانتظام :

$$q = \frac{V}{s \cdot h} \quad (7-14b)$$

ومن القيمتين f و q يحسب الجهد المكافئ:

$$f_0 = \sqrt{f^2 + 3q^2} \quad (7-14)$$

ويجب ألا يتجاوز الجهد المكافئ الجهد المسموح به للحم الزاوي مزاداً
٪١٠

$$f_0 \geq 1.1 \times 0.4 f_{01}$$

هذا ويساعد في مقاومة عزم الحني أن يلحم جزء من اللوح المشترك مع
عنصر العمود لحاماً أفقياً ويزداد عزم مقاومة اللحام وتصح المعادلة :

$$M_2 = f \cdot \frac{sh^2}{6} + f \cdot b \cdot s \cdot h \quad (7-15)$$

وبذلك تقل قيمة الجهد العمودي f ، مما يساعد على تقليل الارتفاع h .

طول التثبيت في الأعمدة

يتوقف طول تثبيت العمود غير المستند جانبياً على ظروف نهايته ، كما
سبق بيانه بالجدول (٤ - ٣) ، وفيه يظهر الفرق واضحاً بين العمود الذي
كلتا نهايته مقيدة الحركة عمودياً على محوره وبين العمود الذي إحدى نهايته غير
مقيدة الحركة أي قابلة للزحزحة الجانبية ، إذ يصل معامل التثبيت للعمود
الذي إحدى نهايته غير مقيدة الحركة إلى أكثر من ضعف معامل التثبيت
للعنود الذي نهايته مقيدة الحركة. ويلاحظ أن معاملات التثبيت لهذه الأخيرة
مأخوذة عن معادلات التثبيت للعالم أويلر (Euler) كما يتضح من الجدول
(٧ - ١) :

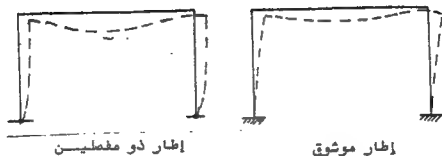
جدول ٧-١

ظروف نهايتي العمود	معادلات أولر		طول التحنيط العملي
	الحمل الحرج	طول التحنيط	
النهايتان مفصليتان	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	L	L
النهايتان موثوقيتان $4 \times$	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$0.5L$	$0.65L$
نهاية موثوقة والآخرى مفصلية $2 \times$	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$0.7L$	$0.80L$
نهاية موثوقة والآخرى حرة $\frac{1}{4}$	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$2.0L$	$2.10L$

أما معاملات التحنيط للأعمدة التي إحدى نهايتها غير مقيدة الحركة عمودياً على محورها شكل (٧-٣٧) فهي كما في الجدول (٧-٢):

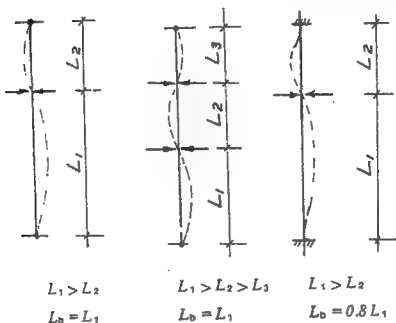
جدول ٧-٢

ظروف نهايتي العمود	الوضع العملي للعمود	طول التحنيط	
		النظري	العملي
النهايتان موثوقيتان	إطار موثوق	$1.0L$	$1.2L$
نهاية مفصلية وأخرى موثوقة	إطار ذو مفصلين	$2.0L$	$2.0L$



شكل (٧-٣٧)

فإذا سند العمود الذي نهايته مقيدتا الحركة سندا جانبيا كان طول التحنيب متوقفاً على المسافة بين النقط المسنود فيها ، ومنها نهايته ، كما في الأمثلة التالية (شكل ٧-٣٨) :

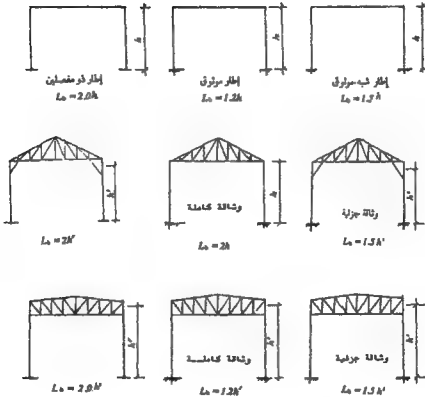


شكل (٧-٣٨)

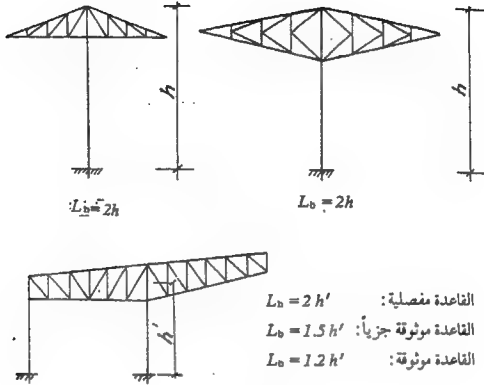
أطوال التحنيط لأعمدة الإطارات :

أولا - في مستوى الإطار :

يوضح شكل (٧ - ٣٩) أعمدة الإطارات وطول التحنيط لكل منها ،
كما يبين شكل (٧ - ٤٠) الأعمدة الحاملة للكابولات .



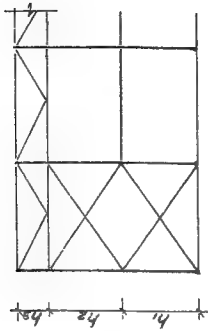
شكل (٧ - ٣٩) - أطوال التحنيط لأعمدة الإطارات



شكل (٧ - ٤٠)

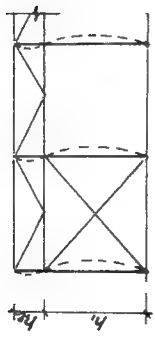
ثانياً - عمودياً على مستوى الإطار:

يتوقف طول التثبيت في الاتجاه العمودي على مستوى الإطار على ظروف قواعد الأعمدة وعلى النقط التي يسند فيها العمود جانبياً ، ويكون السند فعالاً إذا زُود المنشأ في ذلك الاتجاه بنظام أربطة أو إطار قادر على مقاومة الانزياح الجانبي . وفي هذه الحالة لا يشترط أن تكون قواعد الأعمدة موثوقة في ذلك الاتجاه - (شكل ٧ - ٤١) -

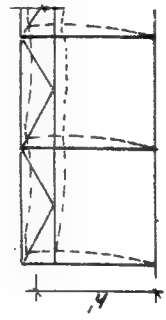


أيضا أطول
 $L_0 = h_1 \text{ or } h_2 \text{ or } h_3$

القواعد مفصليّة: $L_0 = 2h'$
 القواعد موزّعة جزئياً: $L_0 = 1.5h'$
 القواعد موزّعة: $L_0 = 1.2h'$



أيضا أطول
 $L_0 = h_1 \text{ or } h_2$



شكل (٤١-٧) - أطوال التثبيت لأصدة الإطارات عمودياً على مستوى الإطار

أطوال التحنيط لأعمدة المباني :

يتوقف طول تحنيط عمود في مبنى ذي طابق واحد أو متعدد الطوابق على ظروف نهايتي العمود أي كيفية اتصاله بغيره من الأعضاء أو كيفية اتصال غيره من الأعضاء به .

ويمكن التفريق بين الحالات الآتية :

أولاً - اتصال قاعدة العمود بالأساس يكون بإحدى الوسائل الآتية :

١ - اتصال مفصلي صريح .

٢ - اتصال شبه مفصلي .

٣ - اتصال موثوق وثاقه كاملة .

٤ - اتصال موثوق جزئياً .

ثانياً - اتصال الكمرات بالعمود يكون بإحدى طريقتين :

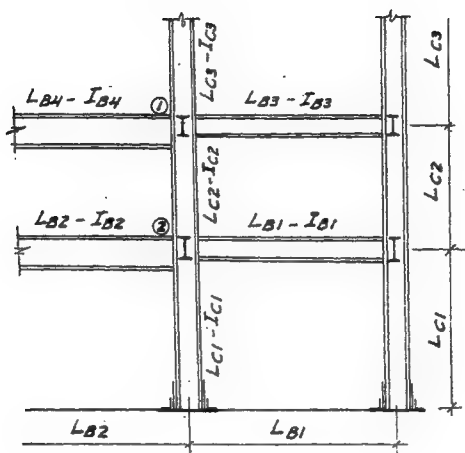
١ - وصلة بسيطة حيث يكون الحمل عليها خفيفاً ، وتعتبر الكمرات في هذه الحالة مستنداً جانبياً .

٢ - وصلة جسيئة قادرة على مقاومة عزم حني .

ثالثاً - يكون تنفيذ المبنى بإحدى طريقتين :

١ - أن يكون خالياً من الأربطة في المستوى الرأسي بحيث يكون عرضة للانزياح الجانبي (Possible Sidesway)

٢ - أن يزود المبنى بأربطة رأسية ، في باكية واحدة على الأقل في كل مستوى رأسي ، بحيث تكون الأربطة قادرة على مقاومة القوى الأفقية التي يتعرض لها المبنى ونقلها إلى الأساس وبذلك يمتنع الانزياح الجانبي (Sidesway Prevented)



شكل (٧-٤٢)

جساءة الوصلة (Rigidity of joint) :

عندما تكون الكمرات المحملة على العمود ذات وصلات جسيئة فإن طول منحيب العمود يتأثر بجساءة الوصلة التي تساوي النسبة بين مجموع جساءتي العمودين أعلا الوصلة وأسفلها وبين مجموع جساءتي الكمرتين على جانبي الوصلة .

أي أن جساءة الوصلة :

$$G = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_b}{L_b}} \quad (7-16)$$

وفيها:

I_c = عظمة العمود حول المحور العمودي على مستوى التحبيب .

I_b = عزم عظمة الكمرة حول المحور العمودي على مستوى تحبيب العمود .

L_c = الطول غير المسنود للعمود في مستوى التحبيب .

L_b = الطول غير المسنود للكمرة .

هذا وتتخذ القيم التالية لحسابة الرصلة G عند قاعدة العمود المركبة على

الأساس :

$G = 0$ إذا كان اتصال العمود بالأساس مفصلياً .

$G = \infty$ إذا كان اتصال العمود بالأساس جسيماً .

$G = 1$ إذا كان الاتصال شبه مفصلي .

$G = 10$ إذا كان الاتصال وثاقاً جزئية .

وتتوقف قيمة معامل التحبيب K على قيمة G عند كل من هاتيه .

وتحسب قيمة K من رسم عزنوجرام (*Monogram*) الذي يعتمد على

المقياس اللوغاريتمي لقيم G .

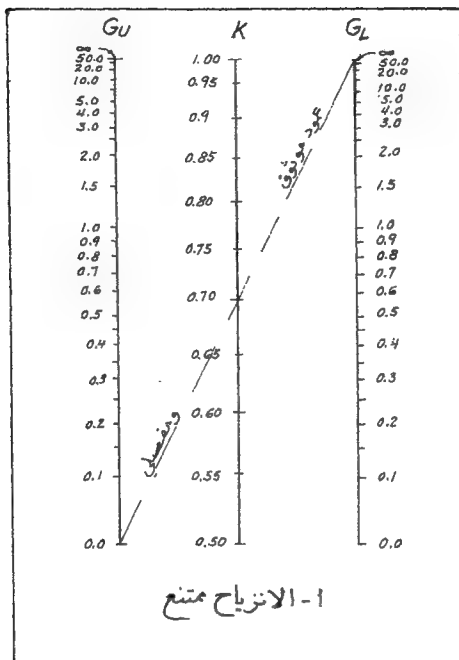
وقد رسم مونوجرام خاص لكل من حالتي المبنى : حالة المبنى القابل

للاتزياح الجانبي وحالة المبنى الذي يتمتع فيه بالاتزياح (شكل ٧ - ٤٣) .

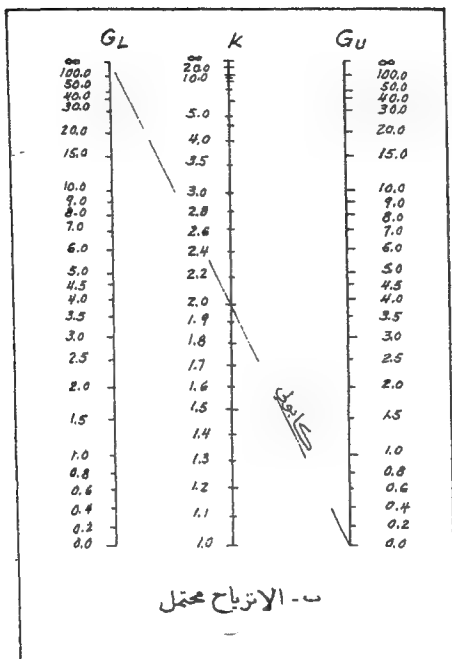
هذا ويجب حساب قيمة المعامل K في كلا اتجاهي المحورين الرئيسيين

للعמוד وذلك لتحديد القيمة الأكبر لنسبة التحافة .

ولتحقيق الرسمين في شكل (٧ - ٤٣) فقد أوضح على أحدهما معامل



شكل (٧-٢٤)



شكل (٧ - ٤٣) معاملات التحنيب لأعمدة المباني ذات الطوابق

لعمود موثوق من إحدى نهايتيه وثاقة كاملة أي أن $G_L = \infty$ بينما النهاية الأخرى مفصّلية أي أن $G_u = 0$ ، ويعطي الخط الواصل بينهما $K = 0.7$ وهي القيمة المعروفة .

وأوضح على التالي معامل لكابولي موثوق من أسفله وثاقة كاملة أي أن $G_L = \infty$ وطرفه الآخر حر قابل للانزياح - حتى لو كان مسنوداً جانبياً وهو قابل للانزياح - أي أن $G_u = 0$ ، ويعطي الخط الواصل بينهما $K = 2.0$ وهي القيمة المعروفة .

اختيار المقطع

أولاً - العمود المحوري التحميل (Axially Loaded columns) :

تشابه الطريقة التي يُختار بها مقطع العمود إلى حد كبير الطريقة التي يُختار بها المقطع لأعضاء الضغط في الجبالونات . حيث المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{ob}} \quad (7-1)$$

تحتوي مجهولين هما المساحة المطلوبة A_{req} وجهد التحنيط المسموح به f_{ob} ، إذ أن جهد التحنيط يتوقف على نسبة نحافة العمود ، وهذه بدورها تتوقف على نصف قطر عطالة المقطع (r) (إضافة إلى طول التحنيط وهو معروف) .

وإذا كانت المساحة (A) غير متوقفة على شكل المقطع إلا أن نصف قطر العطالة يتوقف على شكل المقطع وعلى توزيع مادته بالنسبة لمحوريه .

ومعرفة قيمة نصف قطر العطالة نقطة أساسية في تصميم أعضاء الضغط ، وتعطي جدارل المقاطع الفولاذية قيمة (r) للمقاطع الجاهزة . أما المقاطع المبنية فقد قدمنا لها قياً تقريبية للاستفادة منها في الحسابات المبدئية . (شكل ٧ - ١٠ الى شكل ٧ - ١٧) .

وتبدأ الحسابات بفرض قيمة متوسطة لجهد التحنيط المسموح به والتي

منها يمكن استنتاج المساحة المناظرة وكذلك نصف قطر العطالة للمنقطع ،
وتكون طريقة العمل كما يلي :

١ - يحدد الحمل الحرجي C الواقع على العمود بالكيلوجرام .

٢ - يحدد طول التثبيت في كل من الاتجاهين الرئيسيين لمقطع العمود L_{br} و L_{by} .

٣ - يفرض أن جهد التثبيت المسموح به :

$$\frac{L_b}{r} = 100 \text{ — ويقابله } 700 \text{ Kg/cm}^2$$

٤ - من هذا الفرض نحسب المساحة المناظرة وكلاً من r_x و r_y :

$$\text{Let } f_{yb} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \longrightarrow \frac{L_b}{r} = 100$$

↓

$$A = \frac{C}{700} \text{ cm}^2$$

↓

$$r_x = \frac{L_{br}}{100} \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{L_{by}}{100} \text{ cm}$$

وهنا نفرق بين المقطع الجاهز والمقطع المبني .

أ - المقطع الجاهز أو المدلفن (*Rolled section*) :

نختار من جداول المقاطع الفولاذية المقطع الذي نراه ملائماً
للخصائص التي حصلنا عليها :

- مقطع I عريض الشفة ؛ إذا كانت النسبة بين r_x و r_y صغيرة . إذ يتضح من
الجدول أن هذه النسبة تبدأ من ١,٧ وتنتهي بمقدار ٣,٥ للمقطع رقم
٦٠٠ .

- مقطع I عادي إذا كانت النسبة بين r_x و r_y كبيرة ، إذ يتضح من الجدول أن

هذه النسبة تبدأ من ٣,٥ وتنتهي بمقدار ٥,٤ . هذا بخلاف أن r_v للمقطع العادي صغير جداً بحيث قد لا يفي بمتطلبات نسبة النحافة انقصوى المسموح بها في المواصفات . وكما هو الحال في حساب أعضاء الضغط في الجبال ، نوجد المجال الذي يمكن اختيار المقطع فيه : وإحدى نهايته هي المقطع الذي يحقق شرط المساحة ونهايته الأخرى هي المقطع الذي يحقق شرط نصف قطر العطالة الأكثر حرجاً . انظر الأمثلة من رقم ٢ إلى رقم ٤ .

ب- المقطع المبني (Built section) :

نظراً لتعدد أشكال المقاطع المبنية فإن المصمم يواجه بمشكلة اختيار العناصر التي يبني منها المقطع المطلوب . إضافة إلى اختيار مقاسي المقطع ، وقد سبق أن أوضحنا أن الحيز الذي يشغله العمود يحكمه التصميم المعماري كما وأن التصميم الاقتصادي يقتضي أن تتساوى نسبتاً نحافة العمود حول محوريه وبذلك يمكن معرفة النسبة بين مقاسي المقطع . ويمكن اختيار أحد المقاسين أو كليهما مما نعرفه من العلاقة بين مقاس مقطع العمود في اتجاه ما ونصف قطر عطالة المقطع في ذلك الاتجاه .

وتقسم المساحة المطلوبة بين عناصر المقطع ، ثم تجري عملية التدقيق في الجهد المسموح به والذي عبرنا عنه برفع قيمة نسبة النحافة لمراعاة ما تتعرض له العناصر من تخنيب موضعي في حالة الربط بالأسرطة أو تخنيب موضعي مصحوب بعزم حتي في حالة الربط بالواح التقوية . انظر الأمثلة من رقم ٥ إلى رقم ٧ .

ج- المقطع I الملحوم :

هنا يتم اختيار المقطع بأكمله ، لوح الجذع ولوح الشفة ، مقاساً ومسمكاً .

١- الجذع :

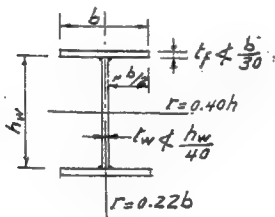
يتراوح عمق الجذع بين ١ / ٢٠ و ١ / ١٥ من الارتفاع الحر للعمود مع مراعاة ألا تتجاوز نسبة النحافة القيمة المقررة بالمواصفات .

- لكي يقاوم الجذع التحنيب الموضعي يجب ألا يقل سمكه عن $\frac{1}{4}$ من عمقه .

٢ - الشفتان :

- يؤخذ عرض الشفة مما يحقق تساوي نسبة النحافة للعمود في الاتجاهين طالما كان ذلك ممكناً .

- يؤخذ سمك الشفة بحيث لا يقل عن $\frac{1}{15}$ من بعد طرف الشفة عن الجذع (شكل ٧-٤٨) . انظر المثال رقم (٧-٨) .



شكل (٧-٤٤)

وبهذه أمثلة لاختيار المقاطع لمختلف الأعمدة .

أولاً - الأعمدة التي تحمل قوة محورية (Axially loaded columns) :

مثال (٧-٢) - المطلوب اختيار مقطع على شكل I للعمود يحمل ٣٠ طناً ، إذا كان طول التحنيب في الاتجاهين ٦,٠٠ م .

$$\text{Let } f_{ab} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \text{ for which } \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30000}{700} = 42.8 \text{ cm}^2 \quad r_x = r_y = \frac{600}{100} = 6.0 \text{ cm}$$

a: S.I.B. مقطع I عادي

$$S.I.B. N^{\circ} 240 - A = 46.1 \text{ cm}^2, r_x = 9.59 \text{ cm}, r_y = 2.20 \text{ cm}$$

(too small!)

$$S.I.B. N^{\circ} 600 - A = 254.0 \text{ cm}^2, r_x = 23.4 \text{ cm}, r_y = 4.30 \text{ cm}$$

(too big)

(ملحوظة - هذا أكبر مقطع I عادي ويتظر أن يكون أكبر من اللازم) .

$$\text{Try } S.I.B. N^{\circ} 450, A = 147.0 \text{ cm}^2, r_y = 3.43 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{600}{3.43} = 175$$

$$f_{ob} = \frac{7'000'000}{(175)^2} = 229 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30'000}{147} = 204 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

b: B.F.I.B. مقطع I عريض الشفة محسب
5.39

$$B.F.I. N^{\circ} 140 - A = 43.0 \text{ cm}^2, r_x = 5.93 \text{ cm}, r_y = 3.58 \text{ cm (too small)}$$

$$B.F.I. N^{\circ} 240 - A = 106.0 \text{ cm}^2, r_x = 10.30 \text{ cm}, r_y = 6.08 \text{ cm (too big)}$$

$$\text{Try } B.F.I. N^{\circ} 200 - A = 78.1 \text{ cm}^2, r_x = 8.54 \text{ cm}, r_y = 5.07 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{600}{5.07} = 118$$

$$f_{ob} = \frac{7'000'000}{(118)^2} = 503 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30'000}{78.1} = 384 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

ملحوظة : قد يبدو أن المقطع المختار كبير ولكن B.F.I. 180 لا يصلح
حيث :

$$(f_{bb} = 402 \text{ Kg/cm}^2, f_{act} = 462 \text{ Kg/cm}^2)$$

مثال (٧ - ٣) - في المثال (٧ - ٢) ، ماذا يكون المنطع إذا ساند العمود في منتصفه في الاتجاه الضعيف .

$$P = 30\,000 \text{ Kg}, L_{bx} = 600 \text{ cm}, L_{by} = 300 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_{bb} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \longrightarrow \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.8 \text{ cm}^2 \quad r_x = \frac{600}{100} = 6.0 \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{300}{100} = 3.0 \text{ cm}$$

a — S.I.B.

$$S.I.B. N^{\circ} 240 - A = 46.1 \text{ cm}^2, r_x = 9.59 \text{ cm}, r_y = 2.20 \text{ cm (too small)}$$

$$S.I.B. N^{\circ} 380 - A = 107.0 \text{ cm}^2, r_x = 15.00 \text{ cm}, r_y = 3.02 \text{ cm (too big)}$$

$$T.T.S.I.B. N^{\circ} 300 - A = 69.0 \text{ cm}^2, r_x = 12.7 \text{ cm}, r_y = 2.56 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{2.56} = 117$$

$$f_{bb} = \frac{7\,000\,000}{(117)^2} = 503 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{69.0} = 435 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

b — B.F.I.B

$$B.F.I. N^{\circ} 140 - A = 43.0 \text{ cm}^2, r_x = 5.93 \text{ cm}, r_y = 3.58 \text{ cm (too small)}$$

$$B.F.I. N^{\circ} 160 - A = 54.3 \text{ cm}^2, r_x = 6.78 \text{ cm}, r_y = 4.05 \text{ cm (too big)}$$

Try B.F.I.N° 160-

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.78} = 88.5 \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{4.05} = 74.1$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times (88.5)^2 = 830 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{54.3} = 552 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\approx O.K.)$$

(For B.F.I.N° 140:

$$f_{ob} = 686 \text{ Kg/cm}^2, f_{act} = 698 \text{ Kg/cm}^2)$$

(الجهد الفعلي أعلا بنحو ٧ ، ١ - % - يمكن استخدامه)

مثال (٧ - ٤) - في المثال (٧ - ٢) ، ماذا سيكون المقطع إذا ساند العمود في نقطتي الثلث في الاتجاه الضميف .

$$P = 30\,000 \text{ Kg}, L_{bx} = 600 \text{ cm}, L_{by} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_{ob} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.8 \text{ cm}^2 \quad r_x = \frac{600}{100} = 6.0 \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{200}{100} = 2.0 \text{ cm}$$

a - S.I.B.

$$S.I.B. \text{ N}^\circ 220 - A = 39.5 \text{ cm}^2, r_x = 8.80 \text{ cm}, r_y = 2.02 \text{ cm (too small)}$$

$$S.I.B. \text{ N}^\circ 240 - A = 46.1 \text{ cm}^2, r_x = 9.59 \text{ cm}, r_y = 2.20 \text{ cm (too big)}$$

يلاحظ هنا أنه لا يوجد مقطع وسط ، فالمقطع S.I.B. 220 بالتأكيد غير كاف كما أن المقطع S.I.B. 240 أكبر مما يلزم ولكن لا مناص من استخدامه ، وتصل قدرته إلى ٣٧ طناً . وهذه مقارنة بين المقطعين :

جدول ٧ - ٢

Section	$f_{ob}, Kg/cm^2$	$f_{act}, Kg/cm^2$
S.I.B. 220	712	759
S.I.B. 240	803	651

b - B.F.I.B.:

B.F.I. N° 140 — $A = 43.0 \text{ cm}^2$, $r_x = 5.93 \text{ cm}$, $r_y = 3.58 \text{ cm}$
(too small)

B.F.I. N° 160 — $A = 54.3 \text{ cm}^2$, $r_x = 6.78 \text{ cm}$, $r_y = 4.05 \text{ cm}$ (too big)

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{5.93} = 101 \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{200}{2.53} = 79$$

يلاحظ أنه بالنسبة للمقطعين نجد أن r_x هي الحرجة .

وبالنسبة للمقطع B.F.I. 140 يمكن استخدامه إذ لا يزيد الجهد به إلا بمقدار ١,٧ % عن المسموح به .

والآن نعقد مقارنة بين مقطع الكمرات العادية والكمرات I عريضة الشفة عند استعمالها في الأعمدة :

جدول ٧ - ٤

مساحة مقطع العمود cm^2 عندما يكون العمود :			نوع المقطع
منوداً جانبياً		غير منود	
في كل ثلث	في المنتصف		
46.1	69.0	147.0	S.I.B
43.0	43.0	78.0	B.F.I.B.

ومن الجدول نستنتج ما يلي :

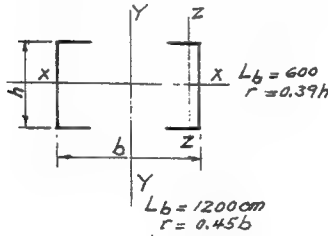
١ - أن المقطع I' عريض الشفة هو المقطع المناسب للعمود غير المسنود بكامل ارتفاعه .

٢ - أن المقطع I العادي لا ينصح باستعماله ، إلا إذا أمكن سنده جانبياً .

٣ - أنه كلما ازدادت نقط سند المقطع I العادي كلما أمكن زيادة الوفريه . وقد يكون أوفر من المقطع عريض الشفة .

مثال (٧ - ٥) - المطلوب اختيار مقطع مكوّن من مجرتين متقابلتين ليحمل ٥٥,٠٠ طنأ حيث طول التحنيط في الاتجاهين ١٢,٠٠ متراً و ٦,٠٠ أمتار .

نرسم المقطع ونحدد خواصه التقريبية : وطبعاً يكون المقاس الأصفر في اتجاه طول التحنيط الأصفر (شكل ٧ - ٥) .



شكل (٧ - ٥)

$$L_{eff} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \frac{L_b}{r} = 100 = \frac{L_x}{r_x} = \lambda_x$$

$$A_{req} = \frac{55000}{700} = 79.0 \text{ cm}^2 \quad \frac{L_y}{r_y} \cong \frac{100}{1.2} = 83$$

$$A_{of} = 39.5 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \frac{600}{100} = 6.0 \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{1200}{83} = 14.4 \text{ cm}$$

$$h = \frac{6.0}{0.39} = 16 \text{ cm}$$

$$b = \frac{14.4}{0.45} = 32 \text{ cm}$$

(هنا افترضنا أن الزيادة في نسبة التحافة الناشئة عن التعنيد الموضعي

... (20%~

∴ المطلوب بحجة مقاسها 160 ومساحتها 39.5 cm^2 وتباعده المجرتان 32.0 cm

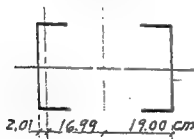
$$[160 \text{ A} \times 44.0 \text{ cm}^2 \quad r_x = 6.21 \text{ cm} \quad \text{too small}$$

$$[240 \text{ A} = 42.3 \text{ cm}^2 \quad r_x = 9.22 \text{ cm} \quad \text{too big}$$

$Tr_2 [200, b = 38.0 \text{ cm}$ (لأن المساحة أصغر يلزم زيادة b)

$$A = 32.2 \text{ cm}^2, r_x = 7.7 \text{ cm}, r_z = 2.14 \text{ cm}, e = 2.01 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{2.14^2 + 16.99^2} = 17.12 \text{ cm}$$



شكل (٧-١١)

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1200}{17.12} = 70$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 70 = 47 < 50$$

$$\lambda_y = \sqrt{70^2 + 47^2} = 84$$

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{600}{7.7} = 78$$

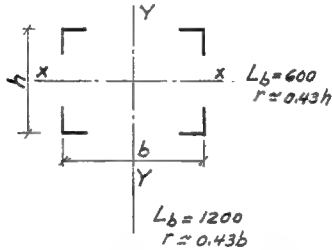
$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times 84^2 = 877 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{55000}{2 \times 32.2} = 825 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

ملحوظة : ستكلم عن حساب الأربطة فيما بعد .

مثال (٧ - ٦) - في المثال السابق المطلوب اختيار مقطع مكوّن من ٤ زوايا متساوية .

$$N = 55\,000\text{ Kg}, L_{bx} = 600\text{ cm}, L_{by} = 1200\text{ cm}$$



شكل (٧ - ٦)

يكون التصميم اقتصادياً عندما تساوى نسبة النحافة في الاتجاهين .
وعلى هذا فإن نصف قطر العطالة حول كل من المحورين يتناسب مع طول
التحنيب في اتجاه المحور ، ولما كان نصف قطر العطالة يتناسب مع مقاس
المقطع ، يستنتج من ذلك أن يتناسب مقاس المقطع مع طولي التحنيب
(تقريباً) .

$$\text{Let } f_{ob} = 700\text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \frac{L_b}{r} = 100 = \lambda_y = \lambda_x$$

$$A = \frac{55000}{700} = 79.0\text{ cm}^2 \quad \frac{L_x}{r_x} = \frac{L_y}{r_y} = \frac{100}{1.2} = 83$$

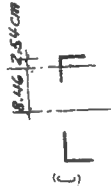
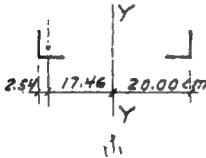
$$A \text{ of } L = 19.8\text{ cm}^2 \quad r_y = \frac{1200}{83} = 14.4\text{ cm}$$

$$b = \frac{14.4}{0.43} = 34 \text{ cm}$$

هنا يمكن اختيار ٤ زوايا $100 \times 100 \times 100$ بعرض ٣٥ سم . كما يمكن اختيار زوايا أصغر ولكن هذا يؤدي إلى زيادة العرض. إذ أن زيادة العرض تعني زيادة r وبالتالي تنقص $\frac{L}{r}$ ومن ثم يزداد الجهد المسموح به ويستتبع ذلك نقص المساحة المطلوبة .

ويلاحظ أن اختيار الزوايا ١٠٠ يجعل ارتفاع المقطع لا يقل عن ٢٠ سم وهذا أكبر من نصف العرض ، وبذلك لا تتساوى نسبة النحافة في الاتجاهين .

إذن ، لنجرب الزوايا $9 \times 9 \times 9$ بعرض ٤٠ سم
 $A = 4 \times 15.5 \text{ cm}^2$, $e = 2.54 \text{ cm}$, $r_x = 2.74 \text{ cm}$, $r_z = 1.76 \text{ cm}$



شكل (٧-٤٨)

$$r_y = \sqrt{2.74^2 + 17.46^2} = 17.7 \text{ cm}$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1200}{17.7} = 68$$

$$\frac{L_z}{r_z} = -\frac{2}{3} \times 68 = 45 < 50 (O.K.)$$

$$\lambda_y = \sqrt{68^2 + 45^2} = 81$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times 81^2 = 902 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{55000}{4 \times 15.5} = 887 \text{ Kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

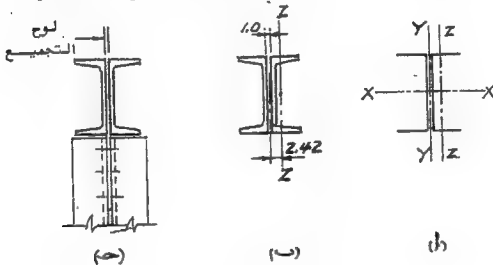
ارتفاع المقطع (عند تساوي نسبة النخافة في الاتجاهين)

$$r_x = r_y \frac{L_x}{L_y} = 17.7 \times \frac{1}{2} = \sqrt{2.74^2 + y^2}$$

$$y = 8.4 \text{ cm} \quad b = 2(8.4 + 2.54) = 22 \text{ cm} \quad \text{شكل (٧-٤٨) ب}$$

مثال (٧-٧) في المثال رقم (٧-٣) المطلوب اختيار مقطع مكون من مجرتين متطاهرتين :

$$P = 30.000 \text{ Kg}, L_{bx} = 600 \text{ cm}, L_{by} = 300 \text{ cm}$$



شكل (٧-٤٩)

$$\text{Let } f_{ob} = 700 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30000}{700} = 42.8 \text{ cm}^2 \quad r_x = \frac{600}{100} = 6.0 \text{ cm}$$

$$r_y = \frac{300}{100} = 3.0 \text{ cm}$$

$$r_y \sim 1.2 \times 3.0 = 3.6 \text{ cm}$$

$$B_{req} = \frac{3.6}{0.22} = 16.0 \text{ cm}$$

$$2 \text{ [} 160 : A = 48.0 \text{ cm}^2, r_x = 6.21 \text{ cm}, r_z = 1.89 \text{ cm}, b = 6.50 \text{ cm}$$

$$B = 14.0 \text{ cm (too small)}$$

$$2 \text{ [} 200 : A = 64.4 \text{ cm}^2, r_x = 7.7 \text{ cm}, r_z = 2.14 \text{ cm}, b = 7.5 \text{ cm}$$

$$B = 16.0 \text{ cm (too big)}$$

$$\text{Try 2 [} 180 : A = 56.0 \text{ cm}^2, r_x = 6.95 \text{ cm}, r_z = 2.02 \text{ cm}, e_y = 1.92 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.95} = 86$$

$$r_y = \sqrt{(2.02)^2 + (2.42)^2} = 3.15 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{3.15} = 95$$

$$\frac{L_{bz}}{r_z} \text{ taken } 50 (< \frac{2}{3} \times 95)$$

$$\lambda_y = \sqrt{(95)^2 + (50)^2} = 107$$

$$f_{ob} = \frac{7000000}{(107)^2} = 611 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30000}{56.0} = 536 \text{ kg / cm}^2 \quad O.K.$$

$$L_z > 50 \times 2.02 > 101 \text{ cm}$$

هذا المقطع أكثر اقتصاداً من المقطع I العادي ، ولكن يقلل من هذا الوفرة الألواح المطلوب ربط المجرتين بها . والمقطع أثقل من المقطع I عريض الشفة ولكن يمتاز عليه بأن وصل أعضاء الجمل به أسهل كثيراً (شكل ٧ - ٤٩ ح) وخاصة في حالة الكابولات .

كما يلاحظ أن هذا المقطع يكون غير اقتصادي إذا كان طول التحنيط في الاتجاه y - y كبيراً .

مثال (٧ - ٨) - في المثال السابق المطلوب اختيار مقطع مبني ملحوم على

شكل I .

$$P = 30\,000 \text{ Kg}, L_{bx} = 600 \text{ cm}, L_{by} = 300 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_{bb} = 700 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \frac{L_{bb}}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} \quad r_x = \frac{500}{100} = 6.0 \text{ cm}, h = \frac{6.0}{0.4} = 15.00 \text{ cm}$$

$$= 42.5 \text{ cm}^2 \quad r_y = \frac{300}{100} = 3.0 \text{ cm}, b = \frac{3.0}{0.22} = 14.0 \text{ cm}$$

Try : Web 140×8 , 2 Flange Plates 140×10

$$A = 11.2 + 2 \times 14 = 39.2 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{0.8 \times 14.0^3}{12} + 2 \times 14.0 \times 7.5^2 = 1756 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \times 1.0 \times \frac{14.0^3}{12} = 457 \text{ cm}^4$$

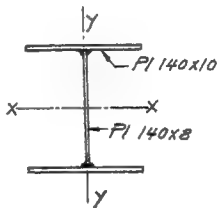
(عزم عطالة اللوح حول محوره الضعيف ضئيل ولا داعي لحسابه)

$$r_x = \sqrt{\frac{1756}{39.2}} = 6.7 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{457}{39.2}} = 3.38 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.7} = 89.5$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{3.38} = 88.8$$



شكل (٧ - ٥٥)

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 89.5^2 = 814 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{39.2} = 765 \text{ kg/cm}^2 \quad O.K$$

يلاحظ أن :

١ - هذا المقطع أخف وزناً من المقطع I عريض الشفة ولكن تكلفة التشغيل أكبر ، ويمكن اللجوء إليه إذا لم يعثر على مقطع عريض الشفة لأنه يكون قطعاً أوفر من المقطع I العادي الذي مساحته 69.0 cm^2 .

٢ - يراعى في المقاطع المبنية الحدود الدنيا لأسماك الألواح :

$$e \geq \frac{h}{40} \quad \text{للجذع} :$$

$$e_s \geq \frac{b}{30} \quad \text{للشفة} :$$

ثانياً - الأعمدة المعرضة لعزم حتى (Eccentrically Loaded columns) :

إذا تعرض عمود لعزم حني M_x ، إضافة إلى حمل عمودي (P) ، فإن معادلة الجهد على مقطعه هي :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad (7-17)$$

فإذا كان الحمل العمودي ضغطاً فإن أثره يتعدى إحداث جهود في المقطع إلى التسبب في تحنيب العمود . ولما كان احتمال حدوث التحنيب يستدعي خفض الجهد المسموح به إلى الجهد المسموح به للتحنيب (f_{ob}) بما يتناسب مع نسبة تحافة العمود فإنه يجب أن يؤخذ هذا التأثير في الاعتبار عند اختيار المقطع . وبمعادل خفض الجهد المسموح به رفع قيمة القوة الضاغطة أي تأثيرها - حيث يضرب الحد $\frac{P}{A}$ من المعادلة المذكورة في العامل ω حيث :

$$\omega = \frac{f_{pb}}{f_{oc}} \quad (7-18)$$

ومن الواضح أن قيمة ω تكون دائماً أكبر من الواحد .

وبذلك تصبح معادلة الجهد الفعلي على مقطع معرض لقوة محورية وعزم

حني :

$$f_{ac} = \frac{P}{A} \omega \pm \frac{M}{Z} \quad (7-19)$$

و يجب ألا يزيد الجهد الفعلي على الجهد المسموح به للضغط (f_{ac}) .
ولوضع هذه المعادلة في الصورة التصميمية نجد أنها تحتوي على ثلاثة مجاهيل A و Z و ω . وهنا لا بد من فرض قيمة للمعامل ω التي قد تزيد على ٣ ويمكن فرض قيمة متوسطة . وتختلف طريقة التصميم في حالة المقطع الجاهز عنها في المقطع المبني .

٢ - المقطع I الجاهز :

١ - يقسم الجهد المسموح به وهو $f_{ac} = 1300 \text{ kg / cm}^2$ قسمين أحدهما يغطي تأثير انقراء العمودية والثاني يغطي تأثير عزم الحني . وقد يحتاج تقسيم الجهد بين هذين التأثيرين إلى شيء من التمرين ، إذ أن ذلك يتوقف على قيمة كل من حمل العمودي وعزم الحني ، إضافة إلى نسبة نحافة العمود التي هي العامل الثاني الذي يؤثر في قيمة الجهد المحتسب من القوة العمودية . وهذه هي طريقة العمل :

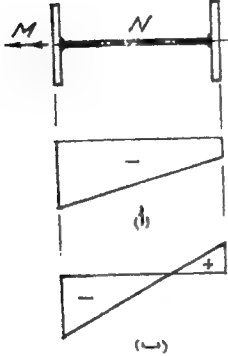
$$\begin{array}{ccc} f_{ac} = 1300 \text{ kg / cm}^2 & & \\ \swarrow & & \searrow \\ f(P) = 600 \text{ kg / cm}^2 & & f(M) = 700 \text{ kg / cm}^2 \\ \downarrow & & \downarrow \\ A = \frac{C}{600} \times 2.0^* & & Z = \frac{M}{700} \end{array}$$

(*) هو العامل ω المفروض

ب - من الجداول نستخرج المقطع الذي يحقق شرط المساحة (A) والمقطع الذي يحقق شرط معايير المقطع (Z) .

ج - فيما بين هذين المقطعين سنجد المقطع المناسب الذي تكون الجهود فيه في الحدود المسموح بها ويكون ذلك بتحقيق الجهود الفعلية فيه - انظر المثالين (٧ - ٩) ، (٧ - ١٠) .

د - إن توزيع الجهود العمودية على مقطع العمود المعرض لقوة عمودية



وعزم حتي يكون توزيعاً منتظماً ويتوقف نوع الجهد على قيمة القوة العمودية وقيمة العزم الخني (شكل ٧ - ٥) :

- فإذا كان عزم الخني صغيراً كانت الجهود على المقطع كلها جهود ضغط كما في شكل (أ) .

- وإذا كان عزم الخني كبيراً ظهرت جهود شد في أحد جانبي المقطع .

وهنا يجب مراعاة ما قد يوجد بالمقطع من ثقب أو براشيم أو براغي ، وخاصة في المنطقة التي بها جهود الشد وعلى الأخص في الشفة ، حيث يفقد من المقطع ما لا يقل عن ١٥٪ من مساحته ومن عزم عطالته . فإذا ما

وجدت هذه الثقوب وجب أن تعدل المعادلة (١٩ - ٧) بحيث تستبدل المساحة الصافية A_{net} بالمساحة A ومعامل المقطع الصافي Z_{net} بمعامل المقطع Z فتصبح :

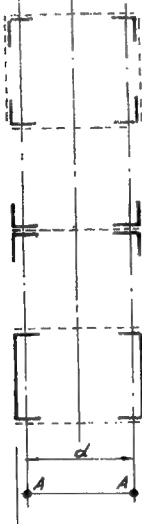
$$f_{net} = \frac{P}{A_{net}} \times \omega + \frac{M}{Z_{net}} \geq f_{at} \quad (7-20)$$

ب - المقطع المجني :

في هذه الحالة نفرض أن المقطع مكون من كتلتين متساويتين مساحة كل منهما (أ) تقع الواحدة منها في مركز ثقل جزء من المقطع وبذلك :

١ - من حيث أن القوة N تقع في مركز المقطع الكلي فإنه ينقسم كل كتلة من هذه القوة نصفها أي $\frac{N}{2}$.

٢ - من حيث أن عزم الحنى M يؤثر على المقطع في الخط الواصل بين



مركزي الكتلتين فإن تأثير M عليها يكون على هيئة قوتين متساويتين متوازيتين متضادتين أي $\pm \frac{M}{d}$ حيث d هو البعد بين مركزي الكتلتين .

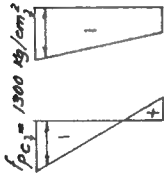
٣ - بذلك تكون القوة الأكبر هي في الكتلة النسبي إلى اليسار (شكل ٧-٥٢) :

$$P = \frac{N}{2} + \frac{M}{d} \quad (7-21)$$

٤ - لما كانت الجهود الناشئة عن M , N غير متائلة على المقطع بأكمله ، ولما كان الجهد الذي يسمح به على الألياف الخارجية للمقطع هو $f_{pc} = 1300 \text{ kg/cm}^2$ فإن الجهد عند مركز الكتلة يكون أقل من ذلك بقليل . ولما كان كل عنصر من العمود عرضة لحدوث تحنيب غير معروف تأثيره حتى يعرف المقطع ، فإنه يمكن الاستعاضة عن ذلك بخفض الجهد الذي يمكن اختيار مساحة الكتلة على أساسه ويمكن افتراض أن الجهد في مركز الكتلة نحو $85\% f_{pc}$ وليكن

$$1100 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_{req} = \frac{P}{1100} \quad \text{وعلى ذلك :}$$



شكل (٧-٥٢)

٥ - نختار المقطع الذي يتكون منه عنصر العمود سواء أكان مجرة أم زاويتين متطاهرتين أم زاويتين متواجهتين ، ونحدد خواص المقطع بالاستعانة بجداول المقاطع القولاذية .

٦ - نتحقق من الجهود الفعلية في المقطع -

أخذين في الاعتبار احتمال حدوث التحنيب الموضعي

حول المحور: - لعناصر العمود (انظر الأمثلة من رقم ١٠ حتى ١٣) .

الأعمدة المعرضة لعزم حني - أمثلة :

١ - المقاطع الجاهزة :

مثال (٧ - ٩) - المطلوب اختيار مقطع للعمود يحمل ٧٠,٠ طنًا ومعرض لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر ، حيث طول التحنيب في أحد الاتجاهين ١٠,٠٠ أمتار وفي الآخر ٤,٠٠ أمتار .

$$N = 70.0 \text{ t}, M = 800 \text{ tcm}$$

$$L_{by} = 10.00 \text{ cm}, L_{bx} = 4.00 \text{ cm}$$

$$\text{Let } f_c = 1300 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{for } N = 600 \text{ kg / cm}^2 \quad \text{for } M : 700 \text{ kg / cm}^2$$

$$A = \frac{70000}{600} \times 1.5 \quad Z = \frac{800000}{700}$$

$$= 175 \text{ cm}^2 \quad = 1140 \text{ cm}^3$$

$$(\omega = 1.5 \text{ بفرض})$$

أولاً - مقطع I عريض الشفة :

$$B.F.I. 340 - A = 174 \text{ cm}^2, Z_x = 2170 \text{ cm}^3 (\text{too big}).$$

$$B.F.I. 260 - A = 118 \text{ cm}^2, Z_x = 1150 \text{ cm}^3 (\text{'too small}).$$

$$\text{Try } B.F.I. 280 - A = 144 \text{ cm}^2, Z_x = 1480 \text{ cm}^3,$$

$$r_x = 12.0 \text{ cm}, r_y = 7.14 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{12.0} = 83.3$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{7.14} = 56.0$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times 83.3^2 = 883 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{883} = 1.47$$

$$f_{act} = -\frac{70000}{144} \times 1.47 \pm \frac{800000}{1480}$$

$$= -714.6 \pm 540.5$$

$$-1255 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2 \quad (O.K.)$$

$$\text{...and } -174 \text{ kg/cm}^2$$

ثانياً - مقطع I عادي :

$$S.I.B 500 - A = 179 \text{ cm}^2, Z_x = 2750 \text{ cm}^3 \text{ (too big)}$$

$$S.I.B 380 - A = 107 \text{ cm}^2, Z_x = 1260 \text{ cm}^3 \text{ (too small)}$$

$$\text{Try } S.I.B 475 : A = 163 \text{ cm}^2, Z_x = 2380 \text{ cm}^3, r_x = 18.6 \text{ cm},$$

$$r_y = 3.6 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{18.6} = 54, \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{3.6} = 111$$

$$f_{ob} = \frac{700000}{(111)^2} = 568 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{568} = 2.29$$

$$f_{act} = -\frac{70000}{163} \times 2.29 \pm \frac{800000}{2380}$$

$$= -983 \pm 336 = -1319 \text{ kg/cm}^2 \sim 1300 \text{ kg/cm}^2 \quad O.K.$$

$$\text{and } -647 \text{ kg/cm}^2$$

مقارنة :

$$B.F.I. 280 \quad w = 113 \text{ kg / m'}$$

$$S.I.B. 475 \quad w = 128 \text{ kg / m'}$$

مثال (٧-١٠) - المطلوب اختيار مقطع لعمود يحمل ٢٠,٠٠ طناً ومعرض لعزم حتى مقداره ٨,٠٠ طن متر وحيث طول التحنيب في أحد الاتجاهين ١٠,٠٠ أمتار وفي الاتجاه الآخر ٤,٠٠ أمتار .

$$\begin{array}{l} \text{Let } f_o = 1300 \text{ kg / cm}^2 \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{for } N : 500 \text{ kg / cm}^2 \qquad \text{for } M : 800 \text{ kg / cm}^2 \\ A \sim \frac{20000}{500} \times 1.5 \qquad Z \sim \frac{800000}{800} \\ \sim 60 \text{ cm}^2 \qquad \sim 1000 \text{ cm}^3 \end{array}$$

أولاً - مقطع I عريض الشفة :

$$B.F.I. 180 : A = 65.3 \text{ cm}^2, Z = 426 \text{ cm}^3 \quad (\text{too small})$$

$$B.F.I. 260 : A = 118 \text{ cm}^2, Z = 1150 \text{ cm}^3 \quad (\text{too big})$$

$$\text{Try } B.F.I. 240 : A = 106 \text{ cm}^2, Z = 938 \text{ cm}^3, r_x = 10.3 \text{ cm}$$

$$r_y = 6.03 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{10.3} = 97 \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{6.03} = 66$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 + 97^2 = 735 \text{ kg / cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{735} = 1.77$$

$$f_{act} = \frac{20000}{735} \times 1.77 \neq \frac{800000}{938}$$

$$\begin{aligned}
&= -334 \pm 85.3 \\
&= -1187 \text{ kg / cm}^2 < 1300 \text{ kg / cm}^2 \text{ O.K.} \\
&\text{and } +519 \text{ kg / cm}^2 \text{ Tension}
\end{aligned}$$

ثانيا - مقطع I عادي :

$$S.I.B.360 : A = 86.7 \text{ cm}^2, Z = 1000 \text{ cm}^3 \sim$$

$$\begin{aligned}
\text{Try S.I.B.380 : } A &= 107 \text{ cm}^2, Z = 1260 \text{ cm}^3, r_x = 15.0 \text{ cm}, r_y \\
&= 3.02 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{15.0} = 67 \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{3.02} = \underline{132}$$

$$f_{ub} = \frac{7000000}{(132)^2} = 402 \text{ kg / cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{402} = 3.23$$

$$f_{act} = - \frac{20000}{107} \times 3.23 \mp \frac{800\,000}{1260}$$

$$= -604 \mp 635$$

$$= -1239 \text{ kg / cm}^2 < 1300 \text{ kg / cm}^2 \text{ O.K}$$

$$\text{and } +31 \text{ kg / cm}^2 \text{ Tension}$$

ملحوظة هامة : في هذا المثال حيث عزم الحني قيمته كبيرة بالنسبة للحمل الرأسي نشأت جهود شد في أحد جانبي المقطع ، وإن كانت غير كبيرة ، وسنبين في المثال رقم (٧ - ١٢) تأثير ثقبو المسامير على الجهود الفعلية ، إذ زادت قيمة كل من جهود الضغط وجهود الشد .

ب- المقاطع المبنية :

مثال (٧- ١١) - في المثال (٧- ٩) ، المطلوب اختيار مقطع مكون من

مجرتين متواجهتين .

$$N = 70.0 \text{ t} \quad M = 8.00 \text{ t.m}$$

$$L_{by} = 10.00 \text{ m} \quad L_{bx} = 4.00 \text{ m}$$

هنا نبدأ باختيار عرض المقطع وليكن ٤٠ سم
ومنه نفرض البعد بين مركزي العنصرين
وليكن ٣٥ سم

$$\text{Force} / [\sim \frac{20.0}{2} + \frac{800}{35} = 58.0 \text{ t}$$

بافتراض الجهد في مركز العنصر 1100 kg/cm^2

$$A_{req} = \frac{58000}{1100} = 53 \text{ cm}^2$$

Try [280 :

$$A = 53.3 \text{ cm}^2, I_x = 6280 \text{ cm}^4, r_x = 10.9 \text{ cm}$$

$$e = 2.36 \text{ cm}, I_y = 329 \text{ cm}^4, r_y = 2.74 \text{ cm}$$

for 2 [°

$$r_y = \sqrt{(2.74)^2 + (17.64)^2} = 17.85 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{400}{10.9} = 36.7$$

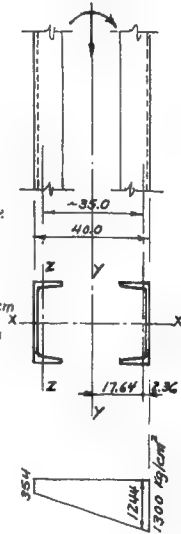
$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{17.85} = 56.0$$

$$\frac{L_1}{r_z} = \frac{2}{3} \times 56 = 37.3 = \frac{L_1}{2.74}$$

$$L_x = 102 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \sqrt{(56.0)^2 + (37.3)^2} = 67$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 (67)^2 = 1030 \text{ kg/cm}^2$$



شكل (٧- ٥٣)

$$\omega = \frac{1300}{1030} \quad 1.26$$

$$I_y = 2 (329 + 53.3 \times 17.64^2) = 33\,829 \text{ cm}^4$$

$$Z_y = \frac{33\,829}{10} = 1691 \text{ cm}^3$$

$$f_{net} = - \frac{70\,000}{2 \times 53.3} \times 1.26 \pm \frac{800\,000}{1691}$$

$$= -827 \pm 473$$

$$= -1300 \text{ kg/cm}^2 \quad O.K.$$

$$\text{and } -354 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (٧ - ١٢) - في المثال (٧ - ١٠)، المطلوب اختيار مقطع مكون من مجرتين متواجهتين :

$$N = 20.0 \text{ ton} \quad M = 800 \text{ t. cm}$$

$$L_{by} = 10.00 \text{ m} \quad L_{bx} = 4.00 \text{ m}$$

$$I_{etb} = 40 \text{ cm}^4 \quad \text{and} \quad d = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Force / t} \sim \frac{200}{2} + \frac{800}{35} = 33.0 \text{ t}$$

$$\text{Area} \approx \frac{33\,000}{1200} = 27.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try } I = 200$$

$$A = 32.2 \text{ cm}^2, \quad e = 2.01 \text{ cm}, \quad I_y = 148 \text{ cm}^4, \quad r_x = 7.70 \text{ cm}$$

$$r_y = 2.14 \text{ cm}$$

for 2 [":

$$r_y = \sqrt{(2.14)^2 + (17.86)^2} = 18.0 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{400}{7.7} = 52 \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{18} = 55.6$$

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{2}{3} \times 55.6 = 37$$

$$L_2 = 37 \times 2.14 = 79 ,$$

$$\lambda_v = \sqrt{(55.6)^2 + (37)^2} = 67$$

$$f_{vb} = 1300 - 0.6 \times 67^2 = 1031 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{1031} = 1.26$$

$$I_y = 2 (148 + 32.2 \times 17.86^2) = 20838 \text{ cm}^4$$

$$Z_y = \frac{20838}{20} = 1042 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = - \frac{20000}{2 \times 3202} \times 1.26 \mp \frac{800000}{1042}$$

$$= -391 \mp 768$$

$$= -1159 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{May be below})$$

$$\text{and } +377 \text{ kg/cm}^2 \text{ Tension}$$

سندرس الآن تأثير وجود ثقب في شفتي المحرّة .

١ - نفرض أن الثقب في كلا المجرتين بذلك يكون المقطع متماثلاً :

$$A_{net} = 2 (32.2 - 2 \times 1.7 \times 0.85) = 58.6 \text{ cm}^2$$

$$Net I_y = 20838 - 4 \times 1.7 \times 16.0^2 = 19355 \text{ cm}^4$$

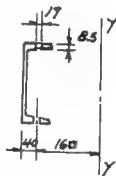
$$Z_{net} = \frac{19355}{20} = 967.8 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = - \frac{20000}{58.6} \times 1.26 \pm \frac{800000}{967.8}$$

$$= -430 \pm 827$$

$$= -1257 \text{ kg/cm}^2 \quad O.K.$$

$$\text{and } +397 \text{ Tension}$$



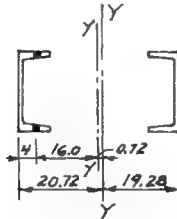
شكل (٧ - ٥٤)

فإذا كان خصم الثقوب جهة الشد فقط ، وهذا هو الحل الدقيق ،

أصبح المقطع غير متماثل ، ونبدأ بحساب مركز المقطع .

$$A_{net} = 2 \times 32.2 \times 2 \times 0.85 = 1.5 \text{ cm}^2$$

$$e' = \frac{2 \times 1.7 \times 0.85 \times 6}{64.4} = 0.72 \text{ cm}$$



شكل (٧-٥٥)

$$\begin{aligned} Net I_y &= 20838 + 64.4 \times 0.72^2 - 2.9 \times 16^2 \\ &= 20125 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{act} &= -\frac{20000}{61.5} \times 1.26 - \frac{800000 \times 19.28}{20125} \\ &= -410 - \underline{766} = -1176 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{act} &= -\frac{20000}{61.5} \times 1.26 + \frac{800000 \times 20.72}{20125} \\ &= -410 + \underline{824} = +414 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

إذا قارنا قيم الجهود لوجدنا أنه في مقطع معرض لعزم حني ويأخذى الشفتين ثقوب دون الأخرى فإنه يمكن حساب جهد الضغط باعتبار المقطع كله

عاملًا (قارن الرقمين 766,768) وحساب جهد الزلزال باعتبار أن المقطع يحوي تقوياً في كلتي الشفتين (قارن لفة ن 824,827) . وفي هذا طبعاً تسهيل حسابي حيث أن حساب الزلزال غير المتأثر أكثر مشقة من حساب المقطع المتأثر . ويلاحظ أنه يمكن مبدئياً معرفة إذا كانت إحدى جهتي المقطع معرضة لشد من معادلة :

$$Force = \frac{M}{2} \pm \frac{N}{d} \quad (7-22)$$

حيث تكون قيمة $\frac{M}{2}$ أكبر من قيمة $\frac{N}{2}$.

مثال (٧-١٣) - في المثال (٧-١٠) ، المطلوب اختيار مقطع مكون من

٤ زوايا

Try L 120 × 11

$$A = 25.4 \text{ cm}^2 \quad r_x = 3.66 \text{ cm}$$

$$e = 3.36 \text{ cm} \quad r_z = 2.35 \text{ cm}$$

$$I_x = 341 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{3.66^2 + 16.64^2} = 17 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{17} \approx 59$$

شكل (٧-٥٦)

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 59 = 39$$

$$L_x = 39 \times 2.35 = 92 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \sqrt{(59)^2 + (39)^2} = 71$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times (71)^2 = 998 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{998} = 1.30$$

$$I_y = 4(341 + 25.4 \times 16.64^2) = 29496 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{29496}{20} = 1475 \text{ cm}^3$$

$$f = -\frac{70\,000}{4 \times 25.4} \times 13 \pm \frac{800\,000}{1475}$$

$$= -896 \pm 542$$

$$= -1438 \quad k_g / cm^2 \quad N.G.$$

مقارنة المثالين (٧ - ١١) و (٧ - ١٣) يتبين أن استعمال المجرتين أكثر اقتصادا لسببين :

١ - أن الجهد في المجرتين مسموح به ، وليس كذلك للزوايا . وبذلك تجنب زيادة المقطع ، إما باستعمال زوايا أكبر أو زيادة البعد بين الزوايا .

٢ - أن مقطع الزوايا يحتاج إلى أربعة في كلا الاتجاهين ، كما أنها في الاتجاه الطويل ستكون أطول . هذا وإذا لم يتيسر وجود المقاطع المجرة فإنه يمكن استعمال نفس الزوايا في المثال رقم ١٣ على أن يزداد البعد بينها من ٤٠ سم إلى ٤٥ سم مثلا

$$r_y = \sqrt{3.66^2 + 19.14^2} = 19.49 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{19.49} = 51$$

$$\frac{L_z}{3} = \frac{2}{3} \times 51 = 34$$

$$L_z = 34 \times 2.35 = 80$$

$$\lambda_y = \sqrt{51^2 + 34^2} = 61$$

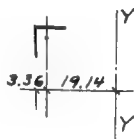
$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 61^2 = 1077 \text{ kg / cm}^2 \quad \text{شكل (٧ - ٥)}$$

$$\omega = \frac{1300}{1077} = 1.2$$

$$I_y = 4 (341 + 25.4 \times 19.14^2) = 38584 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{38\,584}{22.5} = 1715 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = \frac{70\,000}{101.6} \times 1.2 \pm \frac{800\,000}{1715}$$



$$= -827 \pm 466$$

$$= -1293 \text{ kg / cm}^3 \quad \text{O.K.}$$

$$\text{and } -361 \text{ kg / cm}^3$$

للحصول على عرض المقطع :

يجب ألا تزيد نسبة النحافة في اتجاه $x-x$ عنها في اتجاه $y-y$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = 51 \quad \therefore r_x = \frac{400}{51} = 7.84 \text{ cm}$$

$$r_{x_{max}} = 43 \text{ h} \quad \therefore h = \frac{7.84}{43} = 18.2 \text{ cm}$$

من غير المعقول أن تقل عن ٢٢ سم - عرض رجلي الزاويتين فلنأخذها
٢٢ أو أكثر قليلا ، ولنكن $\therefore h = 25 \text{ cm}$

مثال (٧-١٤) - في المثال (٧-١٢) المطلوب اختيار مقطع مكون من ٤

زوايا

$$N = 20.0 \text{ t} \quad M = 800 \text{ tcm}$$

$$L_{by} = 10.0 \text{ m} \quad L_{bx} = 4.00 \text{ m}$$

$$\text{Let } b = 45 \text{ cm}$$

$$\text{Force / } 2L^2 \sim -\frac{20.0}{2} \pm \frac{800}{40}$$

$$= -10 \pm 20$$

$$= -20.0 \text{ t} + 10.0 \text{ t}$$

$$\text{Area} = \frac{30000}{1100} = 27.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try } L 90 \times 90 \times 9$$

$$A = 15.5 \text{ cm}^2 \quad e = 2.54 \text{ cm}$$

$$I_x = 116 \text{ cm}^4 \quad r_x = 2.74 \text{ cm} \quad r_z = 1.76 \text{ cm}$$



شكل (٧ - ٥٨)

$$r_y = \sqrt{2.74^2 + 11.01^2} = 20.14 \text{ cm}$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1000}{20.14} = 49.6$$

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{2}{3} \times 49.6 = 33$$

$$L_x = 33 \times 2.54 = 84 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \sqrt{49.6^2 + 33^2} = 59.6$$

$$f_{yb} = 1300 - 0.6 \times 59.6^2 = 1087 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = \frac{1300}{1087} = 1.2$$

$$I_y = 4 (116 + 15.5 \times 19.14^2) = 23641 \text{ cm}^4$$

$$Z_y = \frac{23641}{22.5} = 1051 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{4 \times 15.5} \times 1.2 \pm \frac{800000}{1051}$$

$$= -387 \pm 761$$

$$= -1148 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{and } +374 \text{ kg/cm}^2$$

ملحوظة : الزوايا $80^\circ \times 80^\circ$ غير كافية ، إذ الجهد فيها

$$= 1364.7 + 396 \text{ kg/cm}^2$$

والآن لندرس تأثير وجود ثقب في الزوايا ، وليكن ذلك في شفة واحدة

فقط ، وسنفترض الوضع الأسوأ وهو أن تكون الثقب في الشفة البعيدة المرافية

$$A_{net} = 4 \times 15.5 - 4 \times 0.9 \times 1.7 = 55.01 \text{ m}^2$$

$$I_{net} = 23641 - 4 \times 0.9 \times 1.7 \times 22.0^2 = 20680 \text{ cm}^4$$

$$Z_{net} = \frac{20680}{22.5} = 919 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{55.9} \times 1.2 \pm \frac{800000}{919}$$

$$= -429 \pm 871$$

$$= -1299 \text{ kg/cm}^2$$

$$+ 442 \text{ kg/cm}^2$$

وتكون القيم الفعلية للجهد في المقطع ذي الثقوب في جهة الشد فقط :

$$A_{net} = 4 \times 15.5 - 2 \times 0.9 \times 1.7 = 58.94 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{20000}{58.94} \times 1.2 - \underline{761} = -1168 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{58.94} \times 1.2 + \underline{871} = +464 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (٧-١٥) في المثال (٧-١٠) ، المطلوب اختيار مقطع على شكل 1

ملحوم

$$P = 200 \text{ t} \quad M = 800 \text{ tcm}$$

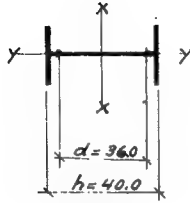
$$l_{ex} = 1000 \text{ cm} \quad L_{ex} = 100 \text{ cm}$$

لذلك عمق المقطع 40.0 cm

نفرض البعد بين مركزي الكلاشين = 36.0 cm

$$P = \frac{20.0}{2} + \frac{800}{36} \quad \text{الوزن عند كل كتلة}$$

$$= 32.0 \text{ ton}$$



شكل (٧ - ٥٩)

$$A = \frac{32000}{1100} = 29 \text{ cm}^2 \quad \text{مساحة كل كتلة}$$

هذه المساحة ليست في مركز الشفة إذ أنها تمثل مقطعا على شكل T ، ولكن ساقه ليست كامل نصف الجذع ، فالجذع وإن كان يساعد في مقاومة القوة الخارجية العمودية ، إلا أنه قليل الفاعلية في مقاومة عزم الحني . وقد سبق أن أوضحنا أن الجذع يقاوم ١٥٪ فقط من عزم الحني وأوضحنا أيضا أنه إذا اعتبرنا طريقة مساحة الشفة فإن ١/٣ الجذع فقط يدخل ضمن تلك المساحة . يتضح من هذا أنه ليس من السهل اختيار ذلك المقطع ، وعلينا بالتجربة :

Try Flange plate 240 × 10

Web plate 380 × 8

$$\text{Chosen Flange area} = 24.0 \times 1.0 + \frac{1}{6} \times 38.0 \times 0.8 = 29 \text{ cm}^2$$

والآن نحصل على خصائص المقطع :

$$A = 2 \times 24.0 \times 1.0 + 38.0 \times 0.8 = 78.4 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{0.8 \times 38^3}{12} + 2 \times 24.0 \times 1.0 \times 19.5^2$$

$$= 3658 + 18252 = 21910 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \times 1.0 \times \frac{24^3}{12} = 2304 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{21910}{78.4}} = 16.72 \text{ cm}, r_y = 5.42 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{16.72} = 60, \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{5.42} = 74$$

$$Z_x = \frac{21910}{20} = 1096 \text{ cm}^3$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times (74)^2 = 971 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{971} = 1.34$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{78.4} \times 1.34 \pm \frac{800000}{1096}$$

$$= -355 \pm 730$$

$$= -1085, + 375 \text{ kg/cm}^2$$

ويبدو أن هذا المقطع أكبر مما يلزم .
لنجرّب المقطع بعد تغيير لوح الشفة إلى 240×8

$$A = 68.8 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 18104 \text{ cm}^4, I_y = 1843 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 16.2 \text{ cm}, r_y = 5.17 \text{ cm}$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = 62, \frac{L_{by}}{r_y} = 77$$

$$Z_x = 993 \text{ cm}^3$$

$$f_{ob} = 1300 - 0.06 \times (77)^2 = 944 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = \frac{1300}{0.44} = 1.38$$

$$f_{a,t} = - \frac{20(000)}{69.8} + 1.38 \pm \frac{800(000)}{93.3}$$

$$= -401 \pm 857$$

$$= -1258 , + 456 \text{ kg/cm}^2$$

(المقطع مناسب) .

مثال (٧-١٦) - لحساب الاشرطة للعمود في المثال (٥) ، الذي يحمل ٥٥ طن والمكون من مجرتين 200 [2 .

$$L_b = L = \sqrt{(43)^2 + (31)^2} = 53 \text{ cm} \quad \text{طول الشريط}$$

$$\sin \alpha = \frac{31}{53} = 0.58$$

$$Q = 0.02 \times 55.0 = 1.1 \text{ t} \quad \text{القوة الجانبية}$$

$$S_D = \pm \frac{1100}{2 \times 0.58} = \pm 950 \text{ kg} \quad \text{القوة في الشريط}$$

١ - الخرصة

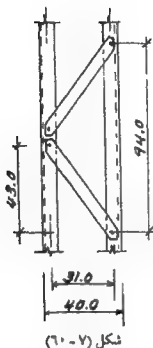
$$t_{min} = \frac{53}{40} = 1.4 \text{ cm}$$

$$b_{min} = 3 \times 1.4 = 4.2 \text{ cm (Rivets } \phi 14)$$

الحساب بةصفها عضو ضغط :

$$r = \frac{1.4}{\sqrt{12}} = 0.4 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{53}{0.4} = 133$$



$$f_{ob} = \frac{7000000}{(133)^2} = 396 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{req} = \frac{950}{396} = 2.4 \text{ cm}^2$$

يؤخذ الشريط ($A = 6.3 \text{ cm}^2$) 45×14

$$f_{act} = \frac{900}{6.3} = 151 \text{ kg/cm}^2$$

التدقيق في حالة الشد :

$$A_{net} = (45 - 1.4) \times 1.4 = 4.34 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{950}{4.34} = 219 \text{ kg/cm}^2$$

يكفي استخدام برشام واحد قطر ١٤ مم ($R_{ss} = 1509 \text{ kg}$)

٥ - الزاوية

$$r_{min} = 0.87 \text{ cm}, A = 4.3 \text{ cm}^2, \text{ Min } L \ 45 \times 45 \times 5$$

$$\frac{L}{r} = \frac{53}{0.87} = 61$$

$$f_{ob} = 1077 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{950}{4.3} = 221 \text{ kg/cm}^2 \text{ O.K.}$$

عل أنه يمكن استخدام الزاوية غير المتساوية $L \ 45 \times 30 \times 5$ (ان وجدت)

$$A = 3.53 \text{ cm}^2 \quad r_{min} = 0.64 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} = 84, f_{ob} = 877 \text{ kg/cm}^2, f_{act} = 255 \text{ kg/cm}^2$$

التدقيق في حالة الشد

$$A_{eq} = 3.53 \times 14 \times 5 = 2.83 \text{ cm}^2$$

$$f_{eq} = \frac{950}{2.83} = 336 \text{ kg/cm}^2$$

ويتضح من هذا المثال أن الراوية أكثر اقتصادا من الخوصة - بالإضافة إلى أنها أكثر جساءة ومقدرة .

مقدرة الخوصة 45×14 :

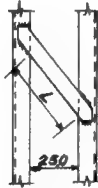
$$A \times f_{ob} = 6.3 \times 396 = 2496 \text{ kg}$$

مقدرة الزاوية $45 \times 30 \times 5$:

$$= 3.53 \times 877 = 3096 \text{ kg}$$

الشرائط الملحومة

يمكن في حالة لحام الشريط اختصار طوله إذ قد يصل إلى $0.8 - 0.9 L$ وبذلك يمكن أن يقل سمك الخوصة وعرضها . كما يمكن استخدام زاوية أصغر (شكل ٧ - ٦١)



شكل (٧ - ٦١)

ففي المثال السابق يمكن استخدام خوصة 12×30 مساحتها 3.6 cm^2

$$r = \frac{1.2}{\sqrt{12}} = 35 \quad \frac{L}{r} = \frac{43}{35} = 123$$

$$f_{ob} = 46.7 \text{ kg/cm}^2, f_{act} = 264 \text{ kg/cm}^2$$

كما يمكن استخدام زاوية $40 \times 40 \times 4$ مساحتها 3.08 cm^2

مثال ٨ - لحساب ألواح التقوية اللازمة للعمود السابق (أخذ الطول

$$(L_2 = 79 \text{ cm})$$

القوة الأفقية المؤثرة على العمود 950 kg

$$\frac{950}{4} \approx 240 \text{ kg} : \text{ القوة عند كل مفصل}$$

$$V = \frac{2 \times 240 \times 98.5}{31} = \pm 1525 \text{ kg} : \text{ القوة الرأسية}$$

قوة القص في اللوح =

$$M = 1525 \times \frac{31}{2} = 23638 \text{ kg cm} : \text{ عزم الحني في اللوح}$$

$$H_2 = \frac{H_1}{3} : \text{ عزم مقاومة البراشيم الأربعة}$$

$$H_1 \times 19.5 + \frac{H_1}{3} \times 6.5 = 21.7 H_1$$

$$H_1 = \frac{23638}{21.7} = 1094 \text{ kg}$$

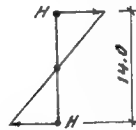
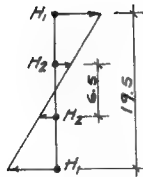
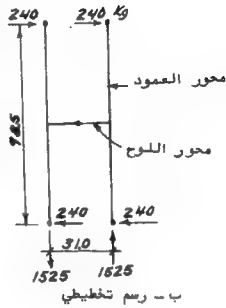
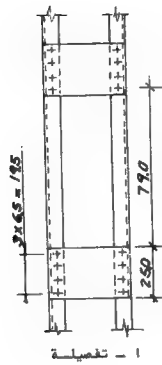
$$V = \frac{1525}{4} = 381 \text{ kg}$$

$$Res = \sqrt{(1094)^2 + (381)^2} = 1158 \text{ kg}$$

$$< 1509 \text{ kg}$$

(R_{35} for Rivet $\phi 14$)

$$l = \frac{31}{40} = 8 \text{ mm} : \text{ سمك لوح التقوية}$$



د - القوى في ٣ براشيم ج - القوى في ٤ براشيم

شكل (٧-٦) حساب لوح التقوية

حساب الجهد في لوح التقوية :

$$Z_{net} = \frac{0.8 \times 25^3}{6} \times 0.85 = 71 \text{ cm}^3$$

$$f_{net} = \frac{23638}{71} = 333 \text{ kg/cm}^2 \quad O.K.$$

$$H = \frac{22320}{14} = 1594 \text{ kg}$$

$$V = \frac{1525}{3} = 504 \text{ kg}$$

$$Res = 1672 \text{ kg}$$

تحتاج لبرشام قطر 17 mm .

إذا افترضنا ٣ براشيم بدلا من أربعة :

$$V = \pm \frac{2 \times 240 \times (79 + 14)}{31} = \pm 1440 \text{ kg}$$

$$M = 1440 \times \frac{31}{2} = 22320 \text{ kg cm}$$

$$= H \times 14$$

الفصل الثامن

رؤوس وقواعد الأعمدة

عند تحميل عمود من أعلاه عن طريق كمره أو جالون أو عمود آخر يلزم تزويد قمة العمود برأس (*Cap*) . وغالبا ما تنقل الرأس أحمالا رأسية ، كما قد تنقل عزم حتي (شكل ٨ - ١) .

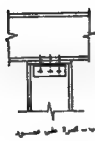
ولكي ينتقل ما يتعرض له عمود من مؤثرات عند أسفله ، من أحمال أو قوى أو عزوم حتي إلى الأساس أو إلى عضو آخر يحمله مثل كمره أو عمود آخر ، يلزم لذلك العمود قاعدة (*Base*) .

والفكرة في كل من الرأس والقاعدة واحدة وهي نقل المؤثرات إلى العضو الحامل ، فيلزم لرأس العمود لوح الرأس (*Cap plate*) كما يلزم لقاعدة العمود لوح القاعدة (*Base plate*) .

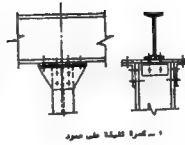
ونقل الحمل من لوح الرأس إلى السمود أو من العمود إلى لوح القاعدة طريقتان ، وسنقرر كلاً مناه على القواعد باعتبارها أعم .

أولا - التحميل المباشر (*Direct Bearing*) .

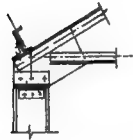
في هذه الحالة يقشط سطح مقطع العمود عموديا على محوره كما يذ ط سطح اللوح الذي سيلاص مقطع العمود بحيث أن كل نقطة في المقطع تجد لها مرتكزا على اللوح .



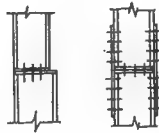
۱- کمره پلی مستر



۲- کمره تکیه پلی مستر



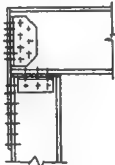
۳- جدول پلی مستر



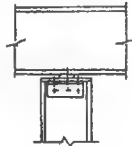
۴- مستر پلی مستر سازه - د - مستر پلی مستر آکس
[ریشه شکل مستر]



۵- مستر پخش
کمره گرساله



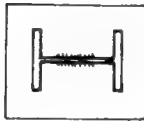
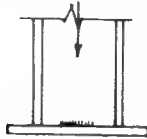
۶- توبه کمره پلی مستر
شکل مستر



۷- ارتکاز منظمی کمره

شکل (۸ - ۱)

فلذا كان العمود محملا عمليا محوريا انتقل الحمل مباشرة من العمود إلى اللوح (أو من اللوح إلى العمود) وعندئذ يكون ارتباط العمود باللوح بشريط تعصير من اللحام ليقاوم ما قد تتعرض له القاعدة من قوى أفقية غير متوقعة (شكل ٨-٢) .



شكل (٨-٢) - قاعدة مخدومة

ثانيا - الطرق الميكانيكية أي بوسائل الربط من لحام أو براشيم أو مسامير القلاووظ .

وذلك عندما يقطع العمود إما باللهب (*Flame cutting*) وإما بالمنشار (*Saw cutting*) .

ففي حالة قطع العمود باللهب يكون سطح المقطع غير مستو وغير منتظم ولذلك يلزم نقل جميع الحمل من العمود إلى لوح القاعدة بوسائل الرباط .

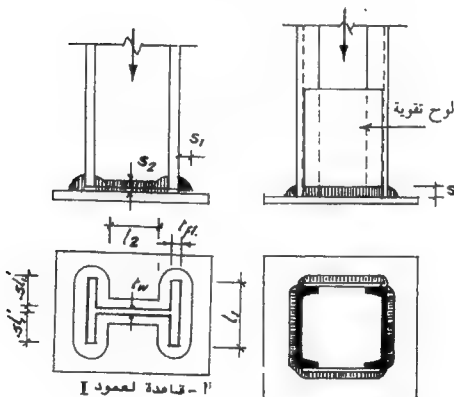
أما إذا قطع العمود بالمنشار ، الذي يجعل سطح المقطع منتظما أو مستويا إلى حد ما ، فإنه يجب نقل ما لا يقل عن ٦٠ ٪ من الحمل على أنه ود إلى لوح القاعدة بوسائل الرباط .

وهذه الطريقة التي يفضلها الكاتب تخالف بعض الشيء ما جاء بالمواصفات المصرية إذ تنص على وجوب نقل جميع الحمل من العمود إلى لوح القاعدة إذا لم تكن نهاية العمود وسطح لوح القاعدة مقشطين ، فإذا كان السطحان مقشطين وجب نقباً ما لا يقل عن ٦٠٪ من الحمل من العمود إلى لوح القاعدة .

أولاً - القواعد الملحومة

فيها يكون اللحام بين جسم العمود وبين لوح القاعدة من النوع الزاوي (Fillet Weld) . وينقل الحمل من العمود إلى لوح القاعدة عن طريق مقاومة اللحام للقص على مستويات تلامس اللحام مع جسم العمود .

حساب القاعدة مركزية التحميل :



١ - قاعدة لعمود I

ب - قاعدة لعمود صندوقي

شكل (٨ - ٣) - القاعدة الملحومة

نبدأ بتحديد أطوال شرائط اللحام على الشفتين. والجذع من المعادلة

التالية

$$P = \sum (l \times s) \times 0.4 f_{\phi} \quad (8-1)$$

وإذا رُئي أن مساحة الشفة أكبر من مساحة الجذع ، كما هو الشأن في المقاطع عريضة الشفة ، مما يتطلب لحاماً أقوى ، أي أكبر مقاساً ، على الشفة منه على الجذع فإنه يمكن جعل النسبة بين مقاسي اللحام كالنسبة بين سمك الشفة إلى سمك الجذع . وبذلك تصبح المعادلة :

$$P = 2 (l_1 s_1 + l'_1 s_1 + l_2 s_2) \times 0.4 f_{\phi} \quad (8-2)$$

$$s_2 = s_1 \times \frac{h}{t_{fl}} \quad \text{ويوضع :}$$

فإن المعادلة تصبح ذات مجهول واحد s_1 .

وفي الأعمدة المكونة من عدة عناصر تربطها عند النهايتين ألواح تقوية ، فإن اللحام يعمل حول الأجزاء الظاهرة من العناصر وحول ألواح التقوية . (شكل ٨ - ٣ ب) .

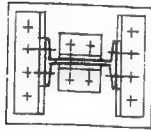
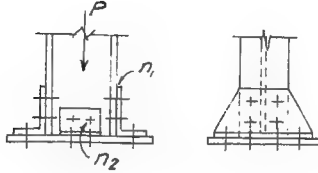
ثانياً - القواعد المبرشمة :

هنا يلزم تدبير سطح كاف لنقل الحمل إلى لوح القاعدة . وتستخدم في هذه الحالة زوايا تسمى زوايا القاعدة (Base angles) . وينتقل الحمل أولاً من العمود إلى الرجل الرأسية للزاوية الملاصقة لجسم العمود بمسامير تعمل في القص وتكون الرجل الأخرى ملاصقة للوح القاعدة بمسطح كبير يمكن معه انتقال الحمل إلى ذلك اللوح بالتحميل المباشر . والزواويتان الرئيسيتان هما اللتان توضعان ملاصقتين لشفتي العمود اللتين تحملان معظم حمل العمود وفي هذه الحالة تعمل المسامير في قص مفرد . فإذا وضعت زاويتان ملاصقتان لجذع العمود فإن مساميرهما تعمل في قص مزدوج .

حساب القاعدة مركزية الحمل

١ - إذا كانت المسامير تعمل كلها في قصر مفرد فإن عددها :

$$n = \frac{P}{R_{s.s}} \quad (8-3)$$

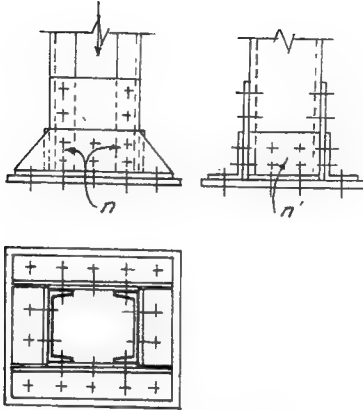


شكل (٨-٤) - مقطع (I)

وإذا رثي إعمال المسامير التي بالذرع فإن المعادلة تصبح :

$$P = n_1 \times R_{ss} + n_2 \times R_{tens} \quad (8-4)$$

ويحدّد أولاً عدد المسامير n_2 ومقدّرتها ثم يحسب عدد المسامير n_1 شكل (٨-٤) . وفي المصطع الصندوقي تغطى بنهاية العمود زوايا على جوانبه الأربعة وفي هذه الحالة تعمل جميع المسامير في قصر مفرد ، $n + n'$ في شكل (٨-٤) .



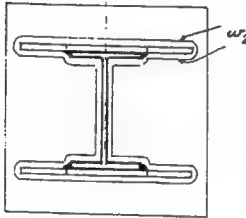
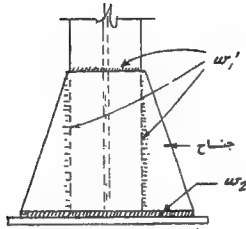
شكل (٨ - ٤) - مقطع صندوقي

شكل (٨ - ٤) - القاعدة المبرشة

القواعد الثقيلة :

إذا كان الحمل الواقع على القاعدة كبيراً بحيث أن مقاس اللحام يكون غير اقتصادي أو أن عدد المسامير التي تربط زوايا القاعدة بالعمود تكون غير كافية فإننا نلجأ إلى استخدام أجنحة. والجناح عبارة عن لوح يأخذ الشكل المناسب لنقل الحمل من العمود إليه ثم من الجناح إلى لوح القاعدة في حالة اللحام وإلى زوايا القاعدة في حالة البرشام .

في القاعدة الملمحومة ينتقل الحمل من العمود عن طريق اللحام (w₁) إلى الجناح (شكل ٨ - ٥) وينتقل الحمل من الجناح إلى لوح القاعدة عن طريق اللحام (w₂) وسوف نتضح لنا فيما بعد فائدة الواح الأجنحة عند الحديث عن حساب لوح القاعدة .

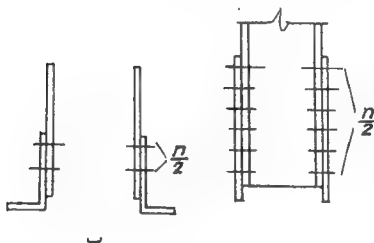


شكل (٨-٥) قاعدة ملحومة ذات أجنحة
في القاعدة المبرشة (شكل ٨-٦) ينتقل الحمل من العمود الى
الجناحين عن طريق المسامير (١) التي تعمل في قص مفرد كما في الرسم
التوضيحي شكل (٨-٦) .

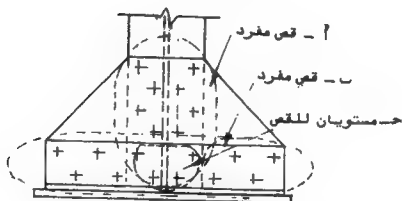
$$n = \frac{P}{R_{ss}} \quad (8-3)$$

ومن الجناحين ينتقل الحمل إلى زاويتي القاعدة عن طريق المسامير (ب)
التي تعمل في قص مفرد كذلك ، كما في الرسم التوضيحي (٨-٦ ب) .
ومعنى هذا أن عدد المسامير (١) يجب أن يكون مساويا لعدد المسامير (ب)
وكلاهما يساوي $\frac{1}{2} n$.

وبين شكل (٨ - ٦ ح) القاعدة مجمعة حيث ظهرت المسامير (١) فيما بين العمود والجناح والمسامير (ب) فيما بين الجناح وزاوية القاعدة وكلا المجموعتين (١) و (ب) تعملان في قص مفرد . ويلاحظ أن هناك المسامير (ح) فيما بين العمود والجناح وزاوية القاعدة . ولا تعمل هذه المسامير في قص مزدوج ولكنها تعمل في مستويين للقص إذ أنها تعمل أولاً فيما بين العمود والجناح ثم فيما بين الجناح وزاوية القاعدة .



رسم توضيحي



ح - رسم القاعدة

شكل (٨ - ٦) حساب القاعدة المبرشة

مقاس لوح الرأس :

يتوقف مقاس وشكل لوح الرأس على المساحة التي يتركز بها العنصر المحمول على العمود كما يتوقف على شكل مقطع العمود الحامل نفسه كما يتوقف على الطريقة التي ينتقل بها الحمل إلى العمود ، من الحام أو براشيم (راجع الشكل رقم ٨ - ١) .

مقاس لوح القاعدة :

يتوقف مقاس لوح القاعدة أولاً على قدرة تحمل مادة الأساس : الخرسانة المسلحة ، والتي تتراوح قدرتها على الضغط بين ٤٠ و ٦٠ كج / سم^٢ في المنشآت العادية ، على أنه يمكن استعمال خرسانات ذات مقدرة عالية أو ذات تسليح خاص مثل التسليح الحزوني وبذلك ترتفع مقدرة الضغط لها . كما يلاحظ أنه إذا ارتكز العمود على أساس من الخرسانة المسلحة ساحتها أكبر من مساحة قاعدة العمود فإن جهد التحميل على الخرسانة يزداد عن جهد الضغط بالنسبة التالية :

$$\frac{\text{مساحة الأساس}}{\text{مساحة لوح القاعدة}} = 3$$

ويمكن القول إن مساحة لوح القاعدة تتوقف كلية على جهد الضغط المسموح به على مادة الأساس في القواعد المملحومة . أما في القواعد المبرشمة فإنه يتحكم في مساحة لوح القاعدة مقاس زاويتي القاعدة ولوحي الجناح .

أولاً - القاعدة المملحومة :

في هذه الحالة تحب مساحة لوح القاعدة من المعادلة :

$$A = \frac{P}{f_b^c} \quad (8-5)$$

حيث P هو الحمل عند القاعدة

و f_b^c جهد التحميل المسموح به لخرسانة الأساس . ويحدد طول وعرض اللوح من شكل مقطع العمود بحيث يبرز اللوح خارج المقطع مسافات متساوية من جميع الجهات (شكل ٨ - ٧) . وبعد اختيار مقاسي اللوح ، أعداداً صحيحة ، يحسب جهد التحميل المعلي على الأساس :

$$f_b^c \text{ act} = \frac{P}{a \times b} \quad (8-6)$$

والخطوة التالية هي حساب سمك اللوح ، ويدقق القطاعان I-I ، II-II حيث يحسب عزم الخني باعتبار امتداد اللوح خارج القطاع يعمل بهيئة كابولي . ويلاحظ أن القطاع II-II في حالة مقطع العمود الذي على شكل I-I ، يمتد إلى الداخل نحو ٧٪ من عرض الشفة .

ويكون عزم الخني M_1 حول المحور I-I ، و M_2 حول المحور II-II :

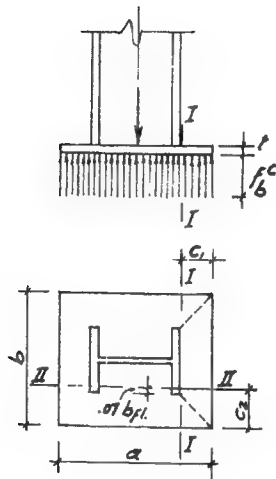
$$M_1 = f_b^c \cdot b \cdot \frac{c_1^2}{2} \quad (8-7a)$$

$$M_{II} = f_b^c \cdot a \cdot \frac{c_2^2}{2} \quad (8-7b)$$

ونظراً لأن هناك جزءاً مشتركاً من لوح القاعدة للمقطعين فإنه يمكن حساب المقطع باعتبار الجهود المؤثرة على شبه المنحرف الذي يحدده الخطان الواصلان بين الأركان . إلا أنه يمكن بتقريب غير بعيد اعتبار ٨٥٪ أو ٩٠٪ من عزم الخني السابق حسابه .

وفي كل الحالات فإن طول المقطع الذي يقاوم عزم الخني هو كامل طول القطاع ، والمقطع مستطيل الشكل .
وبذلك يكون معايير المقطع I-I :

$$Z_1 = \frac{b_1^2}{6}$$



شكل (٧-٨)

ويكون عزم مقاومة المقطع

$$M_n = f_{yt} \cdot \frac{b t^2}{6}$$

وهذا يساوي العزم المؤثر

$$= 0.85 \left(f_c \cdot b \cdot \frac{c_1^2}{2} \right)$$

ومنها :

$$t = 1.6 c \sqrt{\frac{f_c}{f_{yt}}}$$

(8-8)

فعمدما تكون $f_{01} = 1400 \text{ Kg/cm}^2$ ، $f_b^c = 40 \text{ Kg/cm}^2$ فإن :

$$t = 0.27 \text{ c}$$

(8 - 9)

مثال (٨ - ١) - المطلوب حساب قاعدة عمود مقطعه $BFI 240$ ويجعل عند القاعدة حملاً مركزياً قدره $55,000$ طنا .

أولاً - القاعدة الملحومة :

$$A_{req.} = \frac{55\,000}{40} = 1375 \text{ cm}^2 ,$$

$$\text{taken } 370 \times 380 - A_{act} = 1406 \text{ cm}^2$$

$$f_b^{act} = \frac{55\,000}{1406} = 39.1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c = \frac{1}{2} (38 - 24) = 6.0 \text{ cm}$$

$$t = 1.6 \times 6.0 \times \sqrt{\frac{39.1}{1400}} = 1.6 \text{ cm}$$

∴ Baseplate : $370 \times 16 \times 380$

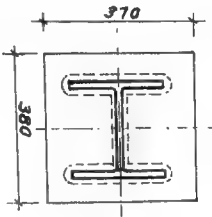
ينتقل 40% من الحمل على العمود الى لوح القاعدة بالتحميل المباشر والباقي ينتقل عن طريق اللحام الزاوي . تحسب أطوال اللحام :

$$2 \times 24 + 4 \times 11 + 2 \times 18 = 128 \text{ cm}$$

$$0.60 \times 55\,000 = 128.0 \times s \times 0.4 \times 1400$$

$$s = 0.46 \text{ cm}$$

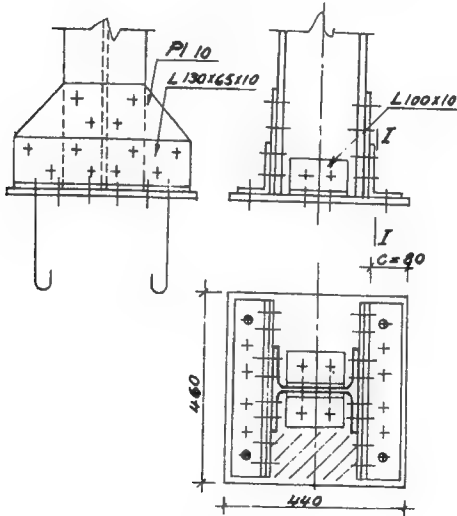
Use 5 mm



ثانياً - القاعدة المرشمة .

هنا تحسب البراشيم اللازمة لنقل الحمل من العمود إلى اللوحين الجانبيين (الجناحين) ومن الجناحين إلى زاويتي القاعدة :

سوف نعتبر هنا أن ٤٠٪ من الحمل ينتقل من العمود إلى لوح القاعدة انتقالاً مباشراً ، باستخدام براشيم قطر ١٧ مم



شكل (٨-٨)

$$R_{s,s} = \frac{\pi \times (1.7)^2}{4} \times 980 = 2224 \text{ Kg}$$

$$n = \frac{0.6 \times 55\,000}{2224} = 14.8 \quad \text{taken } 16$$

$$A_{req} = \frac{55\,000}{40} = 1375 \text{ cm}^2$$

تُوضَّب البراشيم في زاوية القاعدة ، التي يتم اختيارها لتتسع لصفون من البراشيم في الرجل الرأسية ، وتؤخذ في العادة زاوية غير متساوية ، وبذلك يتحدد مقاس لوح القاعدة .

من الرسم يتضح أن مقاس لوح القاعدة 440×460 ومساحته :

$$2024 \text{ cm}^2 \quad \text{وهي أكبر كثيراً من المطلوب .}$$

$$\rho_{net}^c = \frac{55\,000}{2024} = 27.0 \text{ Kg/cm}^2$$

المقطع المخرج هنا هو $I-I$ ويشمل سمك رجل زاوية القاعدة مضافاً إليه سمك لوح القاعدة .

$$M = \frac{46.0 \times 27.0 \times (8.0)^2}{2} = 19\,870 \text{ kgcm}$$

$$Z_{req} = \frac{19\,870}{1400} = 14.19 \text{ cm}^3$$

$$t = \sqrt{\frac{14.19 \times 6}{46}} = 1.36 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 1.36 - 1.00 = 0.36$$

سمك لوح القاعدة

(ليس أقل من ذلك) taken 10 mm

∴ Base plate : $440 \times 10 \times 460$

إذا نظرنا إلى الجزء المهر من لوح القاعدة وجدنا أنه على هيئة بلاطة مرتكزة على ثلاثة أحرف ، وتعتبر البلاطة مستمرة في هذه الاتجاهات ، بينما حرقها الرابع حركشك (٨ - ٩) والمطلوب التحقق من مديمة هذا الجزء من اللوح لعزم الحني . ويمكن استعمال قيم معاملات توزيع الأحمال في الاتجاهين التي تستعمل في بلاطات الخرسانة المسلحة ، كما في جدول (٨ - ١) :

جدول ٨ - ١

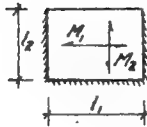
l_2 / l_1	> 2	2	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
α	.133	.132	.126	.120	.112	.107	.097	.088	.074	.060

$$M_1 = \alpha f_b^c l_1^2$$

$$\text{If } \frac{l_2}{l_1} < 0.5 :$$

$$M_1 = 0 \quad M_2 = 0.5 f_b^c l_2^2$$

أي أن هذا الجزء من اللوح يعتبر بهيئة كابولي .



شكل (٨ - ٩)

ملحوظة - في القاعدة المبرشمة يجب ربط زوايا القاعدة بلوح القاعدة ، لثلا ينزلق العمود ، وهذا أمر ثانوي . فإذا نظرنا إلى المقطع $I-I$ المكون من سمكن نرى أنه لكي يعمل السمكان معاً ، كما حسبناهما كذلك ، يجب أن يربط ، وذلك لمنع انزلاق أحدهما على الآخر .

حساب القاعدة المعرضة لعزم حني
تحتسب الجهود الناشئة عن حمل مركزي (P) وعزم حني (M) يؤثران على
قاعدة العمود ، أي على سطح الأساس الملاصق للوح القاعدة ، من
المعادلة :

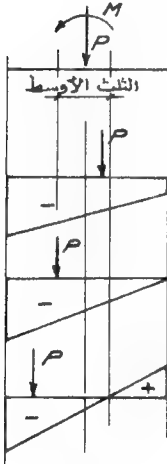
$$f_b^e = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad (8-10)$$

حيث

A = المساحة من الأساس التي تلامس لوح القاعدة الذي مقاسه $a \times b$.
(W هو المقاس في اتجاه عزم الحني)
 Z = معاير تلك المساحة .

ومنها :

$$f_b^e = -\frac{P}{a \cdot b} \pm \frac{6M}{ba^2} \quad (8-11)$$



شكل (٨ - ١٠)

إذا كان لقيمتي f_b^e المسحوبتين
من هذه المعادلة نفس الإشارة (شكلي
٨ - ١٠) وب) فإن ذلك يعني أن
الجهود على سطح الأساس كلها جهود
ضغط .

أما إذا اختلفت إشارتا قيمتي f_b^e
فإن أحد جانبي اللوح يتعرض للجهود
شد (شكل حـ) ويمكن معرفة ذلك
مسبقاً وذلك بحساب مقدار انزياح
القوة P بتأثير عزم الحني M

$$e = \frac{M}{P} \quad \text{إذ}$$

١ - فإذا وقعت P في الثلث المتوسط للسطح كان توزيع الجهد عليه بشكل شبه منحرف (شكل ٨ - ١١٠)

ويمكن حساب f_b^e من المعادلة

$$f_b^e = -\frac{P}{A} \left(1 \mp \frac{6e}{a} \right) \quad (8-12)$$

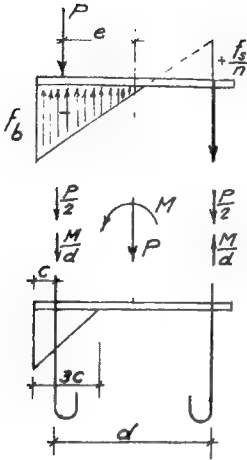
٢ - وإذا وقعت P في نقطة الثلث أي أن $e = \frac{a}{6}$ فإن توزيع الجهد على السطح يصبح بشكل مثلث ، وتصبح المعادلة

$$f_b^e = -\frac{2P}{A} \quad (8-13)$$

٣ - أما إذا خرجت P عن الثلث المتوسط للمساحة فإنه تحدث جهود شد عند أحد جانبي لوح القاعدة ، مما يعني أن حرف اللوح سيرتفع عن سطح الأساس ، وعندئذ لا بد من كبحه أو إرسائه ويكون ذلك باستعمال مسامير الإرساء (الجاويطات) . الفرض من الجاويطات هو مقاومة انخلاع اللوح أي مقاومة جهود الشد التي تؤثر على سطح الأساس . وبذلك يشبه سطح الأساس الملاصق للوح القاعدة مقطوعاً من الخرسانة المسلحة تؤثر عليه قوة غير مركزة (شكل ٨ - ١١) .

أي أنه يمكن حساب جهد الضغط على الأساس ومساحة جاويطات الشد بالطريقة التي يحسب بها مقطع خرساني معرض لقوة ضغط غير مركزة . والمعروف أن المعادلات التي تستخدم في هذه الحالة معقدة ، وأنه تستخدم في حساب مثل هذا المقطع جداول أو مخططات منحنيات .

إلا أنه يمكن استخدام الطريقة التالية ، التي قد تبدو تقريبية إلا أنها تعطي نتائج جيدة :



تزود القاعدة عادة بمجموعتي
جاويفات متائلة في كلا الجانبين .
ولما كانت جاويفات الشد تقاوم
جهود الشد التي تؤثر على جانب من
اللوح فانه يفترض أن جاويفات
الضغط تقع في مركز منشور الضغط
في الجانب الآخر من اللوح أي أن
المؤثرات على اللوح تحولت إلى قوة
شد T في مجموعة الجاويفات على
أحد جانبي اللوح وقوة ضغط C عند
مجموعة الجاويفات على الجانب
الأخر حيث :

شكل (٨-١١)

$$C = -\frac{P}{2} - \frac{M}{d} \quad (8-14 a)$$

$$T = \frac{M}{d} - \frac{P}{2} \quad (8-14 b)$$

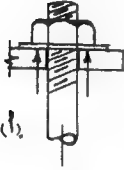
ومن T نحصل على مساحة جاويفات الشد

ومن C نحسب جهد الضغط على خرسانة الأساس من المعادلة

$$C = f_b \times \frac{3c}{2} \times b \quad (8-15)$$

ولحساب قاعدة العمود المعرضة لحمل مركزي وعزم حتي بهذه الطريقة

يلزم فرض مقياس لوح القاعدة $a \times b$ وكذلك المسافة d بين مجموعتي الجاويطات . ومنها نحصل على مساحة جاويطات الشد ثم جهد الضغط f_c على الخرسانة . فإذا كانت قيمة f_c المحسوبة أعلا من المسموح به أمكن خفضها إما بزيادة المسافة c أو عرض اللوح b أو كليهما كما يمكن زيادة طول اللوح فتخفض بذلك قيمة كل من T و C ، وذلك أن d أصبحت أكبر .



الجاويطات (Anchor Bolts) :

إن قوة الشد التي تؤثر على الجاويط تنتقل إليه عن طريق تحميل اللوح على الصامولة ، ومنها تحمل على أسنان القلاووظ (شكل ٨-١٢) . وبذلك يكون المقطع الذي يقاوم قوة الشد هو المقطع عند جذر سن القلاووظ (شكل ٨-١٢ ب) .

وتكون مساحة الجاويطات المحسوبة لتقاوم القوة من معادلة الجهد هي المساحة الصافية



$$A_{net-req} = \frac{T}{f_{s1}} \quad (8-16)$$

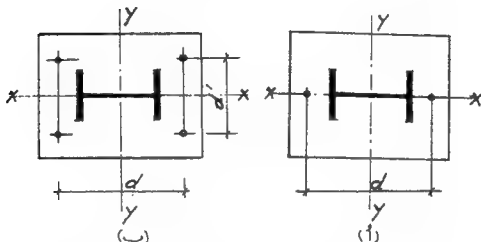
شكل (٨-١٢)

ويفقد جسم المسار ، بسبب قلوظته ، نحو ٣٠٪ من المساحة الأصلية لمقطعة وذلك للأقطار حتى ٢٥ مم ونحو ٢٥ ٪ للأقطار الأكبر من ذلك ويمكن استعمال هذه النسب إذا لم توجد الجداول التي تعطي القيم الدقيقة . وإذا :

$$A_{g-req} = \frac{T}{0.7f_{s1}} \quad (8-17)$$

ويمكن استخدام جاويط أو أكثر في كل جانب . ويتوقف على هذا

الاختيار الحالة الاستاتيكية لنهاية العمود هذه . ففي كلا الشكلين (٨- ١٣- ب) يمكن للقاعدة أن تقاوم عزم حني في اتجاه المحور $x-x$ يساوي ما يستطيع الجاويط أن يتحملة مضروباً في البعد بين الجاويطين (d) .



شكل (٨- ١٣)

أما في الاتجاه $y-y$ ، فإن نهاية العمود في شكل (٨- ١٣) تعتبر مفصلية ، بينما في شكل (ب) يمكن للقاعدة مقاومة عزم حني في الاتجاه $y-y$ يساوي ما يستطيع الجاويط أن يتحملة مضروباً في البعد بين الجاويطين d' .
وتبعاً لحالة القاعدة في الاتجاه $y-y$ يتوقف طول تحنيب العمود في ذلك الاتجاه .

أوضحنا هنا ضرورة استعمال الجاويطات في مقاومة عزم الحني الذي يؤثر على قاعدة العمود ، كما أشرنا إلى وضع الجاويطات متماثلة بالنسبة للعمود ، إذ أنه يغلب أن تكون عزوم الحني على القاعدة منعكسة .
وبصفة عامة فإن الجاويطات تلزم في جميع قواعد الأعمدة (وكذلك كراسي الكممرات) حتى لو لم تكن تحمل سوى قوة مركزية ، وذلك للأغراض الآتية :
أ - المساعدة في أعمال التركيب .

ب - مقاومة أية قوى أو مؤثرات خارجية أو هزات متوقعة أو طارئة .

ح - مقاومة قوى القص - القوى العمودية على محور العمود - والتي تنتقل إلى القاعدة ، بغض النظر عن مقاومة الاحتكاك فيما بين لوح القاعدة والأساس .

د - مقاومة ما قد يؤثر على القاعدة أو الكرسي من قوى نازعة (*Uplift*) التي تحدث عندما تتغلب قوى الشد على الأحمال (قوى الجاذبية) .
ومن هنا يجب أن تزود القاعدة (أو الكرسي) التي تؤثر عليها أحمال رأسية فقط بجواوطين - على الأقل - لا يقل قطر الواحد منها عن ١٦ مم ولا يقل طوله عن ٤٠ سم .

وهذه امثلة لحساب لوح القاعدة والجواوطات لأعمدة معرضة لعزم حني .

مثال (٨ - ٢) - المطلوب حساب قاعدة عمود مقطعه *BFI.240* وتحمل ٢٠ طنا وهي معرضة لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر .

بفرض أن جهد التحميل المسموح به على الأساس الخرساني هو 40 kg/cm^2 ، وأتينا سنصل بجهد التحميل إلى هذه القيمة :

أولا : الحل التجريبي

نفرض أن عرض اللوح $b = 50 \text{ cm}$ وللحصول على طول a ، نطبق معادلة الجهد :

$$f_c^a = \frac{N}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$40 = \frac{20000}{50a} + \frac{800000 \times 6}{50a^2}$$

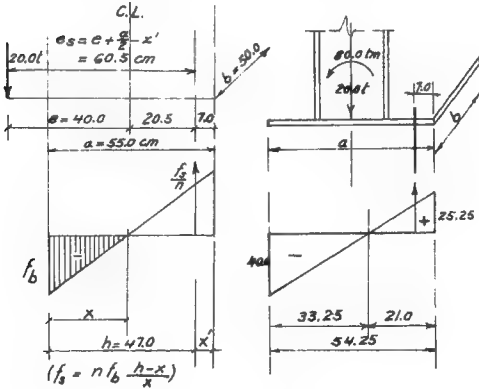
$$a = 54.25 \text{ cm}$$

جهد الشد :

$$f_t = - \frac{211000}{50 \times 54.25} + \frac{800000 \times 6}{50 \times (54.25)^2}$$

$$= 25.25 \text{ Kg/cm}^2$$

هذه القيم محسوبة على أساس حدوث جهود ضغط وكذلك جهود شد أسفل لوح القاعدة . ولما كان هذا التأثير لا يمكن حدوثه ، فإنه يجب استيعاب قوة الشد بجاويفات تقع في مركز المنشور الثلاثي للجهود الشد .



شكل (٨-١٤)

$$T = \frac{25.25 \times 21.0}{2} \times 50 = 13.256 \text{ t}$$

$$\text{gross } A_s = \frac{13.256}{0.7 \times 1400} = 13.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{taken } 3 \phi 25 . (14,7 \text{ cm}^2)$$

والآن للتحقق من أن مقياس لوح القاعدة $50 \times 55 \text{ cm}$ والجوابط التي مساحتها 14.7 cm^2 تحقق جهد الضغط على الأساس وجهد الشد في الجوابط .

امتتاج معادلات التدقيق :

$$\begin{aligned} N &= C - T \\ &= f_b \cdot \frac{b \cdot x}{2} - A_s f_s \\ &= f_b \left(\frac{b x}{2} - n A_s \frac{h - x}{x} \right) \end{aligned} \quad (8-18 a)$$

$$\begin{aligned} M_s &= N \cdot e_s \\ &= f_b \cdot \frac{b \cdot x}{2} \left(h - \frac{x}{3} \right) \\ N &= \frac{f_b \cdot b \cdot x \left(h - \frac{x}{3} \right)}{2 \left(e + \frac{d}{2} - x \right)} \end{aligned} \quad (8-18 b)$$

من المعادلتين (8-18 a) و (8-18 b) :

$$f_b \left(\frac{b x}{2} - n A_s \frac{h - x}{x} \right) = f_b \cdot \frac{b \cdot x}{2} \left(h - \frac{x}{3} \right) / e_s$$

$$e_s \left(\frac{bx}{2} - nA_s \left(\frac{h}{x} - \frac{x}{3} \right) \right) = \frac{bx}{2} \left(h - \frac{x}{3} \right)$$

$$3e_s \left[bx^2 - nA_s(h-x) \right] = 3bx^2 h - bx^3$$

$$3e_s bx^2 - 6e_s nA_s h + 6e_s nA_s x = 3bx^2 h - bx^3$$

$$bx^3 + (3e_s b - 3bh)x^2 + 6e_s nA_s x = 6e_s nA_s h$$

$$x^3 + (3e_s - 3h)x^2 + \frac{6e_s nA_s x}{b} = \frac{6e_s nA_s h}{b} \quad (8-19 a)$$

$$f_b = \frac{2Nx}{bx^2 - 2nA_s(h-x)} \quad (8-19 b)$$

$$f_s = \frac{n f_b (h-x)}{x} \quad (8-19 c)$$

بحل المعادلات (8-19 a, b, c) وتعويض القيم التالية :

$$e = 60.5 \text{ cm}, h = 47.0 \text{ cm}, A_s = 14.7 \text{ cm}^2, b = 50 \text{ cm}, n = 15$$

نجد أن :

$$x = 23.94 \text{ cm}$$

$$f_b = 51.8 \text{ Kg/cm}^2 > 40 \text{ Kg/cm}^2 \text{ — too high}$$

$$f_s = 748 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ — too low}$$

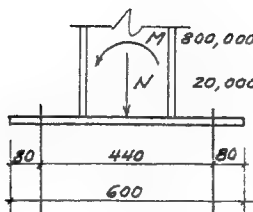
ومعنى هذا أن مقاس هذه القاعدة غير مقبول رغم الزيادة الواضحة في مساحة الجاويطات . ولاحظ أننا إذا حاولنا تقليل تلك المساحة ، فإن ذلك يزيد جهد الضغط في الحرف الآخر .

$$A_s = 10.0 \text{ cm}^2 \quad \text{فمثلاً إذا قللنا مساحة الجاويطات إلى :}$$

$$f_b = 57.0 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{فإن}$$

$$f_s = 1032 \text{ Kg/cm}^2$$

أي أن مقاس لوح القاعدة محسوباً بهذه الطريقة التجريبية يعطي جهود ضغط على الخرسانة أكثر من المسموح به .



ثانياً - الحل التقريبي :

نفرض طول اللوح
٦٠ سم والمسافة بين
مجموعتي الجاويطات
٤٤ سم .

يوزع الحمل وعزم
الخلي فياً بين مجموعتي
الجاويطات :

شكل (٨ - ١٥)

$$T = \frac{800\,000}{44} - \frac{20\,000}{2}$$

قوة الشد :

$$= 18\,182 - 10\,000 = 8,182\,kg$$

$$C = 18\,182 + 10\,000 = 28\,182\,Kgs$$

قوة الضغط :

ومنها نحصل على عرض اللوح ، باعتبار أن القوة C في مركز منشور
الضغط وتساوي قيمته ، فإذا كان الضغط المسموح به على الخرسانة
40 kg/cm² :

$$28\,182 = \frac{3 \times 8.0 \times 40}{2} \times b$$

$$b = 58.7\,cm$$

$$\text{taken } 60.0\,cm$$

الجاويطات :

$$gross A_s = \frac{8182}{0.7 \times 1400} = 8.35 \text{ cm}^2$$

$$Use 3 \phi 20 = 9.42 \text{ cm}^2$$

للتحقق من الجهود باستخدام المعادلات الدقيقة (8-19 a,b,c) حيث :

$$e_s = 40 + 30 - 8 = 62.0 \text{ cm}, h = 52.0 \text{ cm}, A_s = 9.42 \text{ cm}^2,$$

$$b = 60.0 \text{ cm}, n = 15$$

نجد أن :

$$x = 22.3 \text{ cm}$$

$$f_b = 41.6 \text{ Kg/cm}^2 \sim 40.0 \text{ Kg/cm}^2$$

يمكن قبوله

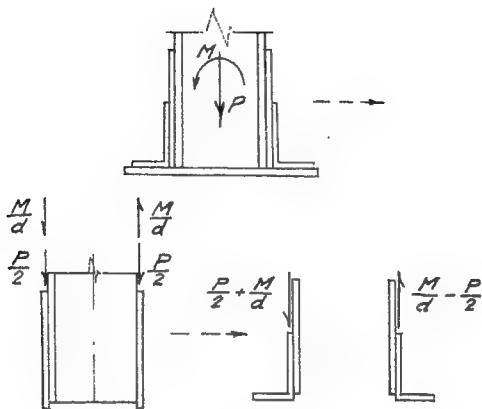
$$f_s = 831.0 \text{ Kg/cm}^2 < 1400$$

هذه الطريقة وإن كانت تقريبية إلا أنها تعطي نتائج قريبة إلى الصحة .
ويمكن استخدامها بأمان .

هذا وتقدر ملاحظة أنه في كثير من الأحيان تنشأ عزوم الحني عن مؤثرات
ثانوية مثل ضغط الرياح والصدمة الجانبية للمرفاعات . وعندئذ ترفع الجهود
المسموح بها للقوالب بمقدار ١٥٪ كما ترفع الجهود المسموح بها للخرسانة بمقدار
٢٠٪.

القواعد المبرشمة المعرضة لعزم حني :

عل نحوما تنتقل الأحمال في القواعد المبرشمة المركزية التحميل ،
ينتقل الحمل وعزم الحني من جسم العمود عن طريق شفتيه إلى زاويتي
القاعدة : إما مباشرة في حالة القواعد الصغيرة وإما عن طريق لحي الجناح في
القواعد الثقيلة .

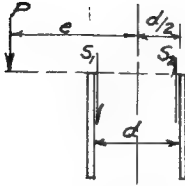


شكل (٨-١٦)

وينتقل الحمل المركزي إلى جانبي الشفتين مناصفة ، أما عزم الحني فإنه ينتقل على هيئة قوتين (متوازيتين) متساويتين متضادتين ، وبذلك تكون القوتان عند الشفتين اللتان تنتقلان إلى لوحى الجناح غير متساويتين وتُحسبان من المعادلة :

$$S_{1,2} = \frac{P}{2} \pm \frac{M}{d} \quad (8-20)$$

حيث d هو عمق مقطع العمود أي المسافة بين لوحى الجناح .



هذا ويمكن حساب القوتين المؤثرتين على لوحى الجناح ، إذا اعتبرنا القوة غير المركزية P التي تبعد عن محور العمود مسافة $e = \frac{M}{P}$ تؤثر على لوحى الجناح وبذلك تكون القوة الأكبر قيمة :

$$S_1 = \frac{P(e + \frac{d}{2})}{d}$$

شكل (٨-١٧)

$$= \frac{P \cdot e}{d} + \frac{P}{2}$$

$$= \frac{M}{d} + \frac{P}{2}$$

وقد تكون للقوتين S_1 و S_2 الإشارة نفسها ، وعندئذ تكون شفتا العمود منضغطتين إلى أسفل . وفي هذه الحالة يكون عدد البراشيم مكافئاً لستين في المائة من قوة الضغط ، حيث قد أوضحنا أن ٤٠٪ من قوة الضغط تنتقل بالتحميل المباشر بين شفة العمود ولوح القاعدة . ولكي تكون القاعدة متائلة يؤخذ العدد الأكبر من البراشيم المناظر للقوة الأكبر قيمة أي

$$n = 0.6 \frac{\frac{\dot{P}}{2} + \frac{M}{d}}{R_{ss}} \quad (8-21)$$

أما إذا اختلفت إشارتا القوتين فإن إحدى الشفتين تُضغط إلى أسفل بينما تُشد الأخرى إلى أعلا . وتحسب البراشيم لتقاوم أكبر القيمتين :

أ - ٦٠٪ من القوة في الشفة المضغوطة .

$$n_1 = 0.6 \frac{\frac{P}{2} + \frac{M}{d}}{R_{ss}} \quad (8-21)$$

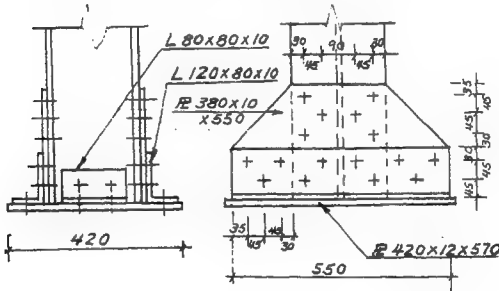
ب - كل القوة في الشفة المشدودة .

$$n_2 = \frac{\frac{M}{d} - \frac{P}{2}}{R_{ss}} \quad (8-22)$$

ويوضع العدد الأكبر من البراشيم في كل من الجانبين .

مثال (٨ - ٣) - المطلوب حساب قاعدة مبرشة لعمود مقطعه BFI240

وتحمل ٢٠ طنا ومعرضة لعزم حثي مقداره ٨,٠٠ طن متر .



شكل (٨ - ١٨)

القوة المنقولة إلى الجانبين :

$$\begin{aligned} S_{1,2} &= -\frac{20}{2} \pm \frac{800}{24} \\ &= -10 \pm 33.3 \\ &= -43.3 \text{ t} \quad \text{or} \quad +23.3 \text{ t} \end{aligned}$$

القوة لحساب المسامير:

$$S = 0.6 \times 43.3$$

$$= 26.0 \text{ t} > 23.3 \text{ t}$$

Using Rivets $\phi 20$, $R_{ss} = 2.64 \text{ t}$

$$n = \frac{26.0}{2.64} = 10 \text{ rivets}$$

حساب سمك لوح القاعدة المعرضة لعزم حني:

أولاً - في جهة جاويطات الشد :

القطاع الحرج (شكل ٨ - ١٩) هو

$I-I$ وتؤثر عليه قوة الشد عند الجاويطات

(T) وبذلك تحدث جهود الشد في سطحه

العلوي . ويكون عزم الحني المؤثر على

$$M_I = T \cdot c_3$$

ويقاوم عزم الحني هذا مقطع اللوح

$b \times t$ والذي معايره .

$$Z = \frac{bt^2}{6}$$

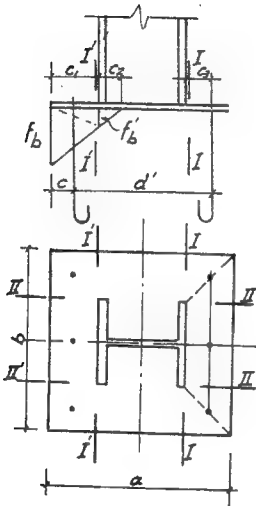
وبذلك يكون عزم مقاومة المقطع

$$M_R = \frac{bt^2}{6} \cdot f_{o1}$$

ومنها نحصل على سمك اللوح :

$$t = \sqrt{\frac{6M_I}{bf_{o1}}} = \sqrt{\frac{6Tc_3}{bf_{o1}}} \quad (8-23)$$

ولكن إذا وقع أحد الجاويطات في



شكل (٨ - ١٩)

المساحة المشتركة بين القطاعين $I-I$ و $II-II$ فإن جزءاً من القوة في هذا الجاويط يقاومه اللوح في اتجاه المقطع $II-II$. فإذا كان الجاويط على الخط القطري كما في الرسم فإنه لا يؤثر على المقطع $I-I$ سوى نصف القوة في الجاويط .

ثانياً - في جهة الضغط

يؤثر على القطاع الخارج ($I'-I'$) منشور الضغط من أسفل إلى أعلا محدثاً جهود الشد عند سطحه السفلي . ومقطع منشور الضغط شبه منحرف وطوله b وجهد الضغط عند حرف العمود :

$$f_b = f_b \frac{c_2}{3c} = \frac{3c - c_1}{3c} \quad 1$$

ولما كان جزء من هذا المنشور يؤثر على القطاع ($II-II$) و ($II'-II'$) فإنه يؤخذ في الاعتبار في حساب القطاع ($I-I$) $\frac{1}{8}$ فقط من عزم الحني الذي يؤثر عليه .

$$M_1' = b \left(\frac{f_b c_1^2}{3} + \frac{f_b c_1^2}{6} \right) \\ = f_b \cdot \frac{b c_1^2}{18c} (9c - c_1) \quad (8-24)$$

ويحسب سمك لوح القاعدة ليقاوم عزم الحني الأكبر من M_1 و M_1' .

مثال (٨ - ٣) - عمود مقطعه $BFL40$ ويحمل عند قاعدته $20.0t$ وتعرض القاعدة لعزم حني مقداره $8.00 tm$. ومقاس لوح القاعدة $60 \times 60 cm$. والمطلوب حساب سمك لوح القاعدة .
سبق حساب جهد الضغط على الأساس وقوة الشد في الجاويطات ، فكانت كما يلي :

جهد الضغط الأقصى عند حرف اللوح $41.6 Kg/cm^2$
قوة الشد في ثلاث جاويطات $8.182t$
حساب عزم الحني على لوح القاعدة :

أ- القطاع I-I :

القوة المؤثرة هنا عبارة عن قوة من أعلى إلى أسفل وتعاود ما يقاومها جاريطان من الجاويطات الثلاثة :

$$M_{I-I} = \frac{2}{3} \times 8182 \times 10 = 54,540 \text{ Kg cm}$$

ب- القطاع I'-I' :

القوة المؤثرة تعمل من أسفل إلى أعلى وتنشأ عن ردود فعل جهود الضغط .

جهد الضغط عند حرف العمود

$$f_b = \frac{41.6 \times 6}{24} = 10.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_{I'-I'} = 0.85 \left[60 \left(\frac{41.6 \times 18^3}{3} + 10.4 \times \frac{18^2}{6} \right) \right]$$

$$= 257,770 \text{ kg cm}$$

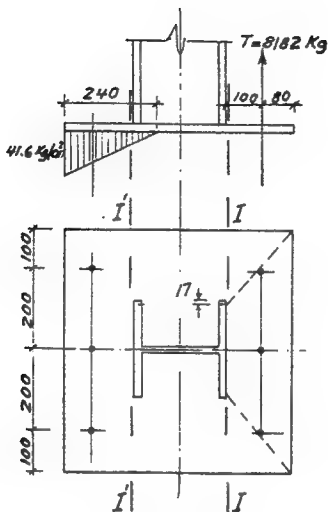
$$Z_{req} = \frac{257,770}{1,400} = 184 \text{ cm}^3$$

$$t = 1.75 \text{ cm} \quad \text{taken } 18 \text{ mm}$$

القواعد الثقيلة

تتعرض بعض الأعمال لمؤثرات تقتضي تعديل قواعدها لأسباب اقتصادية أو حسابية كما في الحالات الآتية :

أولاً - عندما يكون الحمل الرأسي على العمود كبيراً في حين أنه لا يتعرض لعزم حني يذكر في الوقت الذي يكون فيه طول التحنيب صغيراً نسبياً :



شكل (٨ - ٢٠)

في هذه الحالة يكون مقطع العمود صغيراً نسبياً ، لارتفاع مقدار الجهد المسموح به بينما تكون المساحة اللازمة للوح القاعدة كبيرة ، وعندما تكون نهاية العمود ملحومة في لوح القاعدة يكون سمك اللوح كبيراً.

مثال (٨ - ٤) - عمود مقطعه BFI 280 وطول التحنيط فيه ٣ أمتار ، يتحمل حملاً مركزياً قدره -١٧٢ طننا والمطلوب حساب قاعدة ملحومة له .

مساحة لوح القاعدة

$$A = \frac{172 \times 600}{40} = 4 \times 300 \text{ cm}^2$$

لنأخذ اللوح 640×670

عزم الحني عند القطاع I-I :

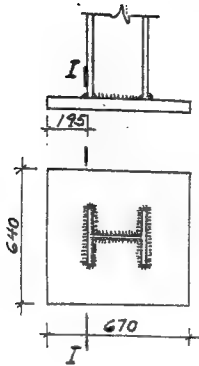
$$M = 0.85 (40.0 \times 64.0 \times \frac{19.5^2}{2}) =$$

$$413 \ 710 \text{ Kgcm}$$

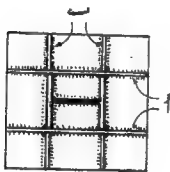
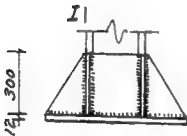
من المعادلة (8-23) :

$$t = \sqrt{\frac{413 \ 710}{1400} \times \frac{6}{64}} = 5.3 \text{ cm}$$

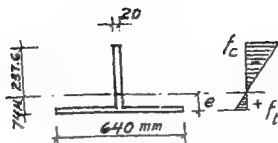
وهذا السمك كبير (شكل ٨ - ٢١) ولتخفيفه نلجأ إلى استعمال اجنحة ، لوحا الجناح أ وهما على شكل شبه منحرف ويستران بكامل مقاس لوح القاعدة ، ألواح الجناح ب وهي على شكل مثلث (شكل ٨ - ٢٢) . وهذه الألواح تعطى جساءة للوح القاعدة الذي نلحم به حيث يصبح القطاع I-I على شكل حرف T .



شكل (٨ - ٢١)



شكل (٨ - ٢٢)



شكل (٨-٢٢) المقطع المكافئ إلى II

أما عن ارتفاع لوح الجناح فيتراوح بين عرض العمود وبين مرة ونصف من ذلك العرض . أما السمك فيمكن اختياره بحيث لا يقل عن ١٠

مم .
ولحساب الجهود في المقطع $I-I$ نحسب أولاً مركز ثقل ماحنه ،
المكونة من مقطع لوح القاعدة ومقطع لوجي الجناح أ ، ثم نحسب عزم
عطالة $I-I$ حول المحور المار بذلك المركز ثم نحسب الجهود .
ففي المثال ، اخترنا سمك لوح القاعدة ١٢ مم ، ارتفاع لوح الجناح
٣٠ سم وسمكه ١٠ مم .

بعد مركز الثقل عن الحرف السفلي للوح :

$$e = \frac{64.0 \times 1.2 \times 0.6 + 2.0 \times 30.0 \times 16.2}{64.0 \times 1.2 + 2.0 \times 30.0} = 7.44 \text{ cm}$$

$$I = 64.0 \times 1.2 \times 6.84 + \frac{2.0 \times 30.0^3}{12} + 60.0 \times 8.76^2$$

$$= 12 \ 697 \text{ cm}^4$$

$$f_c = \frac{413 \ 710 \times 23.76}{12.697} = 744 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t = \frac{413 \ 710 \times 7.44}{12 \ 697} = 242 \text{ Kg/cm}^2$$

وهذه الجهود منخفضة إلى حد كبير ، وإذا يمكن تقليل ارتفاع الجناح .
ثانياً - عندما يتعرض العمود لعزم حني كبير بينا الحمل المحوري صغير.

مثال (٨ - ٥) - لحساب قاعدة عمود مبرشمة تتعرض لعزم حني مقداره ٣٠,٠ طن مترٍ وعليها حمل مركزي قدره ٣٠,٠ طناً ، حيث مقطع العمود BFI400 .
الحالة الأولى : النقل المباشر :

ينتقل الحمل وعزم الحني من شفتي العمود مباشرة إلى لحي الجناح عن طريق براشيم تعمل في قص مفرد ، ومنها ينتقل إلى زاويتي القاعدة ببراشيم تعمل كذلك في قص مفرد وعددها يساوي عدد البراشيم الأولى .

تحسب البراشيم لتقاوم أكبر القوتين :

$$S_{1,2} = \frac{30}{2} \pm \frac{3000}{40}$$

$$= -90.0 \text{ t} \downarrow , +60.0 \text{ t} \uparrow$$

$$0.6 \times 90.0 = 54.0 \text{ t}$$

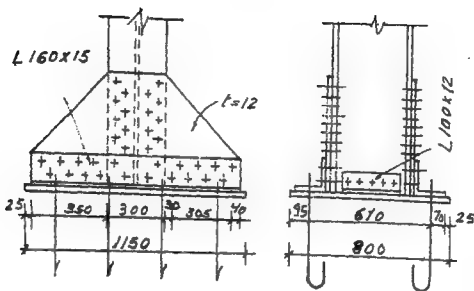
$$\text{or} \quad \frac{60.0 \text{ t}}{20 \text{ mm}}$$

$$\text{قطر البرشام}$$

$$R_{s1} = 3080 \text{ kg}$$

$$n = \frac{60000}{3080} = 20 \quad \text{عدد البراشيم في كل من جانبي شفتي العمود :}$$

ويجلد ترتيب عدد البراشيم مقاس لوح القاعدة كما هو مبين في شكل (٨-٢٣) :



شكل (٨-٢٣)

والآن نتحقق من جهد الضغط على خرسانة الأساس ونحسب الجاويطات اللازمة على اعتبار أن جاويطات الضغط تقع في مركز منشور الضغط:

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{61}$$

$$= -64.2 \text{ t} \downarrow + 34.2 \text{ t} \uparrow$$

ثم نحسب جهد الضغط على خرسانة الأساس :

$$\frac{3 \times 9.5}{2} \times 115 f_c = 64200$$

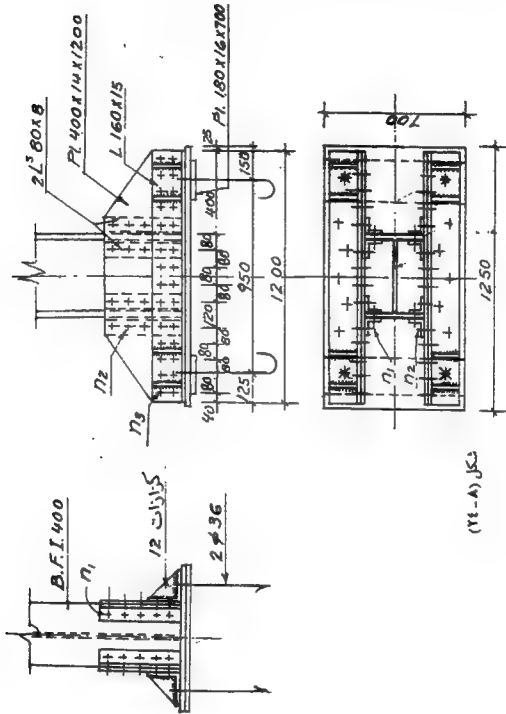
$$f_c = 39.0 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

المساحة الكلية لجاويطات الشد:

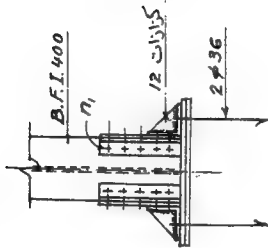
$$A_{s \text{ reqd}} = \frac{34200}{1400 \times 0.7} = 35.0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Chosen } 4 \phi 36 (40.7 \text{ cm}^2)$$

الحالة الثانية - النقل غير المباشر ، القاعدة المبرشمة :

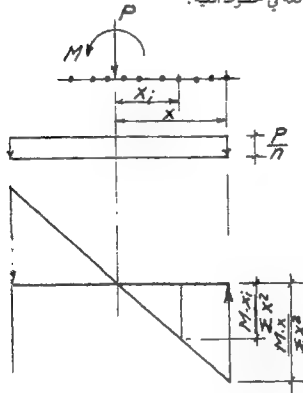


شكل (أ- ٢٤)



في هذه الحالة يتحول المؤثران (الحمل وعزم الحني) إلى قوتين غير متساويتين يمكن افتراض احتوائهما بشفتي العمود . وتنتقل هاتان القوتان من شفتي العمود إلى لوح جناح موازيين لجذعه عن طريق زوايا رأسية جانبية . فتنتقل القوة عن كل حرف من الشفة إلى زاويتين رأسيتين بواسطة مسامير (n) تعمل في قص مزدوج ، ثم تنتقل تلك القوة من الزاويتين إلى لوح الجناح عن طريق مسامير ($n/2$) تعمل في قص مفرد . وجميع هذه المسامير واقعة في خطوط رأسية .

وتنتقل القوى من لوح الجناح إلى زاويتي القاعدة بواسطة مسامير ($n/2$) تعمل في قص مفرد وهي واقعة في خطوط أفقية .



وبالرجوع
التأثيرين إلى أصلهما
أي إلى حمل مركزي P
وعزم حني M يؤثران
على المسامير الأفقية
فإن الحمل المركزي
يصبح قوة قاصة على
مجموعتي المسامير
($n/2$) وهي توزع
بالتساوي على تلك
المسامير.

شكل (٨-٢٥) براسيم معرفة لعزم حني
في مستواها

أما عزم الحني فإنه يحدث في المسامير قوى منعكسة بالنسبة لمركز المجموعة بحيث تتناسب القوة في المسار مع بعده عن ذلك المركز تناسباً طردياً ويمكن إثبات أن عدد المسامير الواقعة في صف واحد واللازمة لمقاومة عزم حني تعطيه المعادلة التالية :

$$n = \sqrt{\frac{6M}{R \cdot p}} \sqrt{\frac{n-1}{n}} \quad (8-25)$$

ونبها

M : عزم الحني المؤثر (Kg.cm)

R : المقاومة الدنيا للمسار (Kg)

p : خطوة المسامير الموحدة بالصف (cm)

وبحذف العامل الثاني من الطرف الأيمن للمعادلة ، يكون العدد n في جانب الأمان . وإن كان الغالب أن تتعرض المسامير لقوة قاضية مباشرة كما هي الحالة هنا وبذلك يستفاد من العدد الأكبر . وتصبح المعادلة :

$$n = \sqrt{\frac{6M}{R \cdot p}} \quad (8-26 a)$$

وإذا كانت المسامير في صفين فيمكن حساب عددها من المعادلة التالية وهي تقريبية ولكن تقريبها في جانب الأمان :

$$\frac{n}{2} = \sqrt{\frac{3M}{R \cdot p}}$$

$$n = \sqrt{\frac{12M}{R \cdot p}} \quad (8-26 b)$$

وإذا كانت المسامير في ثلاثة صفوف تصبح المعادلة :

$$n = \sqrt{\frac{18M}{R \cdot p}} \quad (8-26 c)$$

وفي جميع الحالات يجب التحقق من مقدرة العدد المحسوب لمقاومة P و M بالطريقة الدقيقة .
مثال (٨ - ٦) - الآن نعيد حساب القاعدة في المثال (٨ - ٥) بهذه الطريقة :

$$A - \text{القوة الأكبر عند الشفة} = 60.0 \text{ t}$$

عدد المسامير التي تعمل في قص مزدوج واللازمة لنقل القوة من الشفة إلى الزوايا الجانبية :

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$R_{d.s.} = 6160 \text{ Kg}$$

$$R_b = 2.0 \times 1.6 \times 1960 = 6270 \text{ kg}$$

$$n_1 = \frac{60\,000}{6\,160} = 10 \quad (\text{يجب أن يكون العدد زوجيا})$$

عدد المسامير التي تعمل في قص مفرد واللازمة لنقل القوة من الزوايا الجانبية إلى لوح الجناح :

$$n_2 = \frac{60,000}{3080} = 20 \quad (\text{يجب أن ينقسم العدد على ٤})$$

ب - عدد المسامير اللازمة لنقل المؤثرين إلى زاوية القاعدة (قص مفرد)
القوة القاصة في جانب واحد :
 $P = 15.0 \text{ t}$
عزم الحني في جانب واحد :
 $M = 15.0 \text{ tm}$

من المعادلة (8-26 b)

$$n_3 = \sqrt{\frac{12 \times 1500000}{3080 \times 8}} = 27, \text{ taken } 28$$

وتوب المسامير كما في الرسم شكل (٨ - ٢٤) ، ونتحقق من كفاية عدد المسامير الذي حُساب .

القوة في المسار الطرقي الناشئة عن عزم الحني :

$$1500000 = \frac{4S_1}{56} (56^2 + 48^2 + 40^2 + 32^2 + 24^2 + 12^2 + 4^2)$$

$$S_1 = 2386 \text{ Kg}$$

القوة في المسار الواحد الناشئة عن القوة القاصة

$$S_2 = \frac{15000}{28} = 536 \text{ Kg} . \text{ كلتا القوتين في الاتجاه الرأسي .}$$

القوة الكلية في المسار الطرقي:

$$S = 2386 + 536 = 2922 \text{ Kg}$$

$$< 3080 \text{ Kg} \quad (O.K.)$$

حساب الجاويطات وجهد الضغط على خرسانة الأساس :

في هذه الحالة يوضع جاويط واحد في كل طرف من أطراف زاويتي القاعدة وذلك في اتجاه العزم . وليكن الجاويط على بعد ١٥ سم من طرف اللوح أي أن المسافة بين مجموعتي الجاويطات تصبح ٩٥ سم .

وبالفرض نفسه المعمول به ، وهو اعتبار جاويط الضغط في مركز منشور الضغط :

$$S_{1.2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{95}$$

$$= -46.6 \text{ t} \downarrow , +16.6 \text{ t} \uparrow$$

مساحة الجاويطات

$$A_{gross} = \frac{16\,600}{1400 \times 0.7} = 16.9 \text{ cm}^2$$

$$\text{Chosen : } 2 \phi 32 (16.8 \text{ cm}^2)$$

لحساب جهد الضغط على خرسانة الأساس:

$$70 \times \frac{45}{2} \times f_c = 46\,600$$

$$f_c = 29.6 \text{ Kg/cm}^2 << 40.0 \text{ kg/cm}^2$$

أي أنه يمكن تقليل عرض لوح القاعدة.

هذا ، وينصح باستعمال كزازات مثثلة الشكل ملحومة لتقوية زاويتي القاعدة ولا سيما عند مواقع الجاويطات .

وفي مثل هذا النوع من القواعد يمكن تأكيد توزيع الأحمال على خرسانة الأساس وذلك باستعمال لوحي تحميل محدودي العرض في مواقع الجاويطات وبذلك يكون توزيع جهد الضغط تحت اللوح منتظماً .

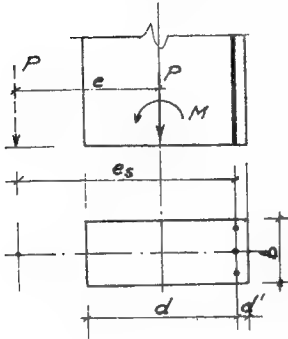
عرض اللوح الذي طوله ٧٠ سم:

$$b = \frac{46\,600}{40 \times 70.0} = 17 \text{ cm}$$

مع ملاحظة أنه يمكن في هذه الحالة رفع الجهد المسموح به للضغط حيث إن مسطح الخرسانة أكبر كثيراً من مساحة لوح التحميل .

بمقارنة القاعدة في كل من حالتي النقل المباشر والنقل غير المباشر يلاحظ أن قوة الشد قلت كثيراً (١٦, ٦ طنناً في مقابل ٣٤, ٢ طنناً) ، وبذلك أمكن استعمال عدد أقل من الجاويطات ذات قطر أقل (٢ قطر ٣٢ مقابل ٤ قطر ٣٦) .

الحالة الثالثة - النقل غير المباشر ، القاعدة الملحومة :



شكل (٨-٢٦)

أ - مقياس لوح القاعدة :
مقدمة : يمكن
حساب عمق مقطع
خرسانة مسلحة معرض
لعزم حتى مصحوب بقوة
عمودية بمعادلة مشابهة
لذلك التي يجب بها عمق
المقطع المعرض لعزم حتى
بسيط وذلك بحساب عزم
الجنبي حول فولاذ التسليح
بدلاً من عزم الجني المؤثر
أي

$$d = K_1 \sqrt{\frac{M_s}{b}} \quad (8-27)$$

ولا يمكن مسبقاً معرفة مقدار انزياح القوة عن موقع فولاذ التسليح إذ
المفروض أن يكون عرض المقطع معروفاً ، فالأمر يقتضي افتراض مقياس
وعمل محاولة أو أكثر .

مثال (٨-٧) - حساب القاعدة بالمثال (٨-٥) :

نفرض أن عرض لوح القاعدة $b = 60.0 \text{ cm}$ طول اللوح مبدئياً :

$$d = 0.4 \sqrt{\frac{3000000}{60}} \\ = 90.0 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{3000}{30} = 100.0 \text{ cm}$$

بعد المحصلة عن الجاويطات (تقريباً) :

$$e_s = 100.0 + 40.0 = 140.0 \text{ cm}$$

العزم حول الجاويطات:

$$M_s = 30.0 \times 140 = 4200 \text{ tcm}$$

$$d' = 15.0 \text{ cm} \quad \text{نأخذ :}$$

$$d = 0.4 \sqrt{\frac{4200000}{60}} = 105.0 \text{ cm} \quad \text{ومنه :}$$

∴ مقاس اللوح 60×120

$$120 - 30 = 90.0 \text{ cm} \quad \text{المسافة بين الجاويطات}$$

القوى على الأساس :

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{90}$$

$$S_1 = +18.3 \text{ t} \quad \text{الشد في الجاويطات :}$$

$$S_2 = -48.3 \text{ t} \quad \text{الضغط على الخرسانة :}$$

$$60 \times \frac{3 \times 15}{2} f_c = 48300 \quad \text{الجهد على الخرسانة :}$$

$$f_c = 35.8 \text{ Kg/cm}^2 < 40.0 \text{ Kg/cm}^2$$

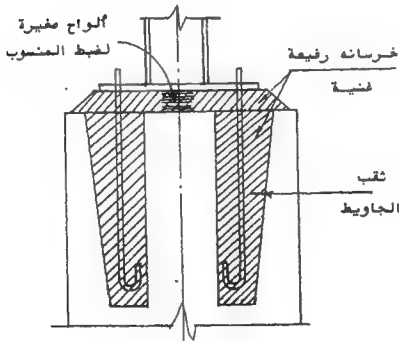
$$b \times \frac{45}{2} \times 40 = 48300 \quad \text{ويمكن تصغير عرض القاعدة :}$$

$$b = 54.0 \text{ cm} \quad \text{ويصبح العرض :}$$

- التخطيط الأفقي لمحاور القواعد الخرسانية للأعمدة الفولاذية ، سواء في الاتجاه الطولي أم في الاتجاه العرضي .
- تحديد مناسيب الأسطح العلوية للقواعد .
- تركيب القُرم وتحديد أماكن جاريطات التثبيت فيها .

ولتلافي ما قد يحدث من أخطاء أو اختلافات في تخطيط محاور القواعد الخرسانية أو في منسوب أعلاها بحيث لو كانت الجاريطات مبيّنة فيها فإنها لا تتقابل مع الثقوب في ألواح قواعد الأعمدة أو أن القواعد لو رُكبت على الجاريطات لا تكون في مركز تقابل محوري العمود أو أن منسوب أعلى القاعدة ، أو بروز الجاريطات منها لا يتفق مع المنسوب التصميمي لتلك القاعدة ، وجب اتباع ما يلي :

- ١ - تصب القواعد الخرسانية بحيث يكون منسوب أعلاها أقل من المنسوب التصميمي بمسافة تزداد كلما كبر بُعدا القاعدة وتتراوح بين :
40 , 100 mm



شكل (٨ - ٢٨)

٢ - يزود الأساس بثقوب في المواقع المحددة للجاويطات بحيث يتسع الثقب لجنش الجاويط مع خلوص مناسب يسمح بتحريك الجاويط في الاتجاه الأفقي ليتوافق مع الثقب في لوح القاعدة وبذلك يمكن تحريك اللوح حتى يضغط مركز القاعدة مع تقابل محوري العمود التخطيطيين . كما يكون عمق الثقب أكبر من طول الجاويط بحيث يسمح بتحريك قاعدة العمود في الاتجاه الرأسي لضبط منسوبها .

إضافة إلى ذلك يمكن عمل ما يلي :

- تزويد الجاويط من أعلاه بقلاووظ أطول من المعتاد بحيث تتحرك الصامولة مع الاختلاف المتوقع في المنسوب ، ويمكن أن يصل ذلك الطول إلى نحو ١٥٠ مم .

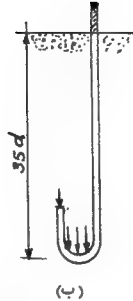
- زيادة قطر الثقوب في لوح القاعدة بنحو ٢٥ مم ليسمح بتحريك لوح القاعدة أفقياً .

وبعد ضبط لوح القاعدة أفقياً ورأسياً يجهل على حشوات من قطع من ألواح معدنية فيما بين ثقوب الجاويطات لسد الفرق بين منسوبي لوح القاعدة وسطح الأساس . ويملأ ذلك الفراغ كما عملاً ثقوب الجاويطات بخرسانة غنية بالأسمنت على أن يكون حصاها رقيقاً لا يتعدى ١٥ مم . ولتسهيل صب الخرسانة بالثقوب يجهل سطحها الخارجي ، أي الثقوب ، مائلاً .

إحكام (تثبيت) مسامير الإرساء (الجاويطات)

تقاوم الجاويطات القوة النازعة (Uplift) التي تتعرض لها قاعدة العمود والناشئة عن عزم الحني المؤثر على القاعدة (أو عن قوة خارجية) ، مما يحدث في الجاويطات قوة شد ومن ثم تنقل الجاويطات تلك القوة إلى الأساس الخرساني ، عن طريق الالتصاق (Bond) فيما بين المساحة المحيطة للجاويط والخرسانة حوله والذي يقاوم انسلال الجاويط من الخرسانة (Slip) (شكل ٨ - ٢٩) .

الطول المقلوب



شكل (٨-٢٩)

وتتوقف هذه المقاومة على العوامل الآتية :

- ١ - جهد الالتصاق ، الذي يتناسب مع قوة خرسانة الأساس .
- ٢ - جهد الشد المسموح به لفولاذ الجاويط .
- ٣ - طبيعة سطح الجاويط ، فالسطح الأملس أقل مقاومة من السطح ذي النتوءات .

فإذا كانت قوة الشد في الجاويط

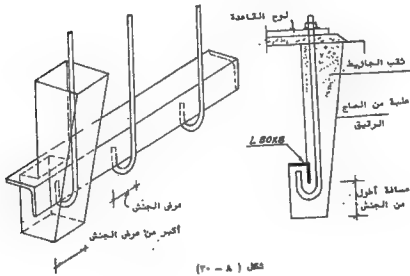
$$0.7 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_{st} \quad (0.7 : \text{للمساحة الصافية})$$

$$\frac{\pi d l \times f_{bond}}{0.7 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_{st}} = \pi d l \times f_{bond} \quad \text{فإن :}$$

$$l = \frac{f_{st}}{5.7 f_{bond}} \quad d \quad (8-28)$$

ويلاحظ أنه كلما كان الجهد المسموح به للفولاذ عالياً تطلب ذلك طولاً أكبر للجوايط ، كما أنه كلما ازدادت قوة الخرسانة قل الطول المطلوب للجوايط . ولذلك يستعمل الصلب العادي S137 في الجوايطات . كما أن المعتاد استعمال الخرسانة C160 في الأساسات . فللأسياخ الملساء يكون الطول المطلوب نحو ٤٠ مرة قطر السيخ . فإذا زود الجوايط بجنشن فإنه يضاف إلى مقاومة الانزلاق المقاومة عن طريق التحميل على الجنشن ، وبذلك يقل الطول بمقدار ٢٠٪ ، كما هو معتاد في أعمال الخرسانة المسلحة . ويمكن القول أن الطول المدفون في هذه الحالة ٣٥ مرة قطر السيخ .

ويكتفي بطريقة التثبيت هذه إذا لم يزد قطر الجوايط على ٢٥ مم . فإذا كان الجوايط أكبر قطعاً وبالتالي أكبر طولاً تعلد الاطمشان إلى تمام تثبيت الجوايط في خرسانة الأساس أو إلى امتلاء ثقب الجوايط بالخرسانة أو إلى حسن تماسك خرسانة الثقب بخرسانة الأساس وعندئذ نلجأ إلى إحدى الوسائل الآتية :



١ - تحميل الجنشات على زاوية فولاذية :

يثبت بالأساس الخرساني وعلى العمق المحدد زاوية فولاذية رجليها الرأسية منكسة بحيث تعلق الجنشات بها عند سحب الجاويط إلى أعلى لربطه مع لوح القاعدة (شكل ٨ - ٣٠) .

ولما كان ثقب الجاويط في هذه الحالة غير مستقيم الجوانب ، لذلك يلزم أن يجهز له صندوق من الصاج الرقيق يلحم بالزاوية ويثبت في فرمة الأساس مع التسليح بحيث لا يتحرك أثناء عملية الصب . وتعطي هذه الطريقة حرية أكبر في ضبط الجاويطات ، وفي الوقت نفسه يعطي إرساء الجاويطات بالزاوية ضمانة تاماً بعدم انخلاع الجاويطات ويكتفي هنا بطول مدفون للجاويط نحو ٣٠ قطراً .

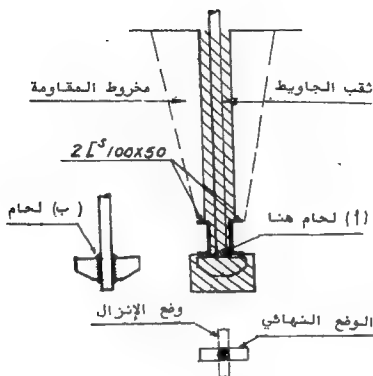
٢ - تحميل الجاويط برأس مستطيل على مجرتين :

يزود الجاويط (شكل ٨ - ٣١) بدلاً من الرأس السداسي المعتاد بخوصة مستطيلة الشكل يلحم السيخ من أعلاها كما في (أ) أو بخوصتين تلحمان على جانبي السيخ وربما من أعلاها وأسفلها كما في (ب) . ويحسب اللحام في جميع الحالات لمقاومة قوة الشد في الجاويط . ويكون عرض الخوصة أكبر قليلاً من قطر السيخ .

ويزود الأساس الخرساني بمجرتين تتباعدان نحو ٢٠ سم أكبر من قطر الجاويط . وينزل الجاويط بحيث يمر من الفتحة بين المجرتين ثم يُلف ٩٠° ويسحب الجاويط وتربط صامولته . ويلاحظ من الرسم الشكل الذي يجب أن يكون عليه ثقب الجاويط الذي يلزمه غلبة من الصاج الرقيق ، ولا بأس أن تكون اسطوانية الشكل .

وتعتمد مقاومة الجاويط في هذه الحالة كلية على التحميل على المجرتين اللتين تتحملان بدورهما على خرسانة الأساس .

ويلاحظ أن استعمال هذه الطريقة يقتضي دقة أكبر من سابقتها في تحديد مكان الجاويطات .



شكل (٨-٣١)

وليس طول الجاويط بالأمر المهم في حساب مقاومته ولكن مقاومة منشور الخرسانة التي تملأ المجرتين . ويمكن القول أن بين ٢٠ و ٣٠ مرة قطر الجاويط يكفي لإحداث تلك المقاومة .

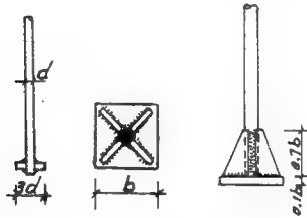
٣ - تحميل الجاويط بلوح رأس :

هذه الطريقة والتي تليها مستخدمة في روسيا وكتناهما تقتضي أن توضع الجاويطات في مواضعها المحددة على الرسومات بدقة على قدر الإمكان أثناء وضع تسليم القواعد وقبل تركيب الغرم أي قبل صب خرسانة الأساس .

١ - التحميل بلوح رأس منفرد :

يلحم عند نهاية الجاويط لوح تحميل مربع الشكل مثقوب مقاسه نحو ٣ أمثال قطر المسار ويتراوح سمكه بين ١٦ و ٢٠ مم . وفي هذه الحالة يؤخذ طول الجاويط ٣٠ مرة قطر المسار .

ب - التحميل بلوح رأس ذي أجنحة: يلحم في نهاية الجاويط لوح تحميل مربع الشكل مقاسه نحو ٤ - ٥ أمثال قطر المسار وسمكه عَشْر عرضه . ويزود اللوح بأربعة أجنحة تصل بين السيخ وبين أركان اللوح . وارتفاع الجناح نحو ٧,٠ عرض اللوح وسمكه بين ٨ و ١٠ مم وفي هذه الحالة لا يزيد طول الجاويط على ٢٠ مرة قطر المسار .
وفي كلتا الحالتين يوسم قطر ثقب الجاويط في لوح القاعدة بنحو ٢٠ مم تحوطا لما قد يحدث من أخطاء تنفيذية



شكل (٨-٣٢)

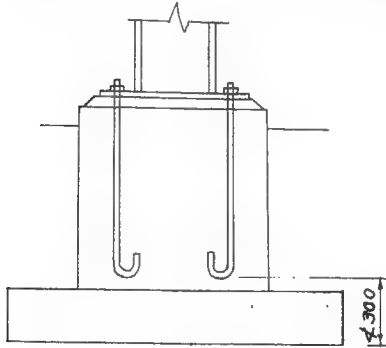
أساس العمود

تؤثر العوامل التالية في تصميم أساس العمود :

- ١ - المنسوب الصالح للتأسيس الذي يحدد العمق الذي يصل إليه الأساس .
- ٢ - قدرة تحمل التربة على ذلك المنسوب حيث تحدّد المساحة اللازمة للأساس .
- ٣ - الحيز الذي يمكن أن يشغله الأساس ، فهو قد يؤثر في اختيار مقاسات مساحة الأساس .

٤ - ما يتعرض له الأساس من مؤثرات خارجية : قوى محورية ، قوى أفقية ، عزم حني منفرد ، عزم حني مزدوج ثم اجتماع عاملين أو أكثر من هذه المؤثرات . ويحدد مقاسا الأساس وموضع العمود عليه ليقاوم تلك المؤثرات .

٥ - وفي المنشآت المعدنية يؤثر عنصر إضافي ، هو الطول المطلوب للجاويزات : فإن طول الجاويز يتطلب حداً أدنى لسبك الأساس حيث يجب ألا يقل سمك الخرسانة بعد انتهاء الجاويز عن ٣٠ سنتيمتراً . ولما كانت الجاويزات تتطلب سمكاً كبيراً للأساس ، فإنه يمكن الاقتصاد في كمية الخرسانة اللازمة له بعمل رقبة عمود (Pedestal) . أي



شكل (٨-٣٣)

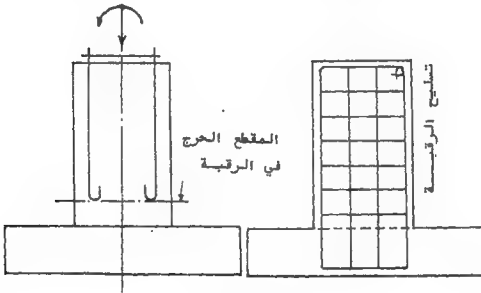
قاعدة (تشبيهاً لها بقاعدة التمثال التي تتركز على أساس) بحيث تحتوي تلك الرقبة على الجاويزات بكامل طولها ، أو معظم طولها .

ويصبح عمل ربة العمود اجبارياً إذا كان منسوب قاعدة العمود أعلى من منسوب الأرضية .

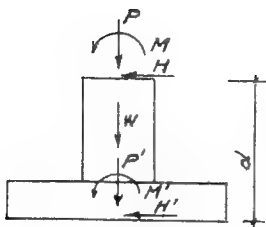
ويحدد مقياس لوح القاعدة مقطع ربة العمود التي يجب أن تتسع لخرسانة الحشو (Cement Grout) .

وسندرس هنا أساسات الأعمدة الفولاذية المعرضة لعزم حني ولقوة أفقية ، حيث نراعى في حساباتها النقاط التالية :

٢ - تحقيق مقطع ربة العمود بعد أن تنتهي الجاويطات أو بعد أن ينتهي الطول الفعال فيها ، إذ يجب أن تزود الربة بتسليح رأسي بحيث يتحمل مقطعها القوة غير المركزية التي تؤثر عليه . ويلاحظ أن التسليح الرأسي الذي يكون متائلاً في الجهتين يعمل جميعه في مقاومة تلك القوة ، (شكل ٨- ٣٤) وبحسب ذلك التسليح بالطرق المستخدمة في حساب مقاطع الخرسانة المسلحة .



شكل (٨- ٣٤)



شكل (٨ - ٣٥)

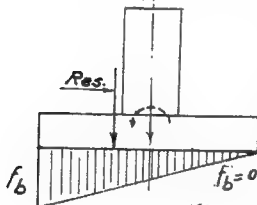
ب - إذا تعرضت قاعدة عمود لقوة أفقية خارجية كتلك الناشئة عن ضغط الريح أو الصدمة الجانبية للمرفاعات أو لقوة أفقية ناشئة عن تأثيرات إطار (Frame action) ، فإن تأثير تلك القوة يزيد من عزم الحني الذي يؤثر على رقبة العمود .

كذلك فإن تأثيرها يدخل في حساب الجهود على سطح التربة حيث يزداد عزم الحني الذي يؤثر على ذلك السطح . على أنه يجب ملاحظة أن يضاف إلى الحمل الرأسي عند سطح التربة ، وزن الخرسانة المسلحة للأساس وكذلك أوزان الحوائط التي تنتقل بتحميل مباشر على رقبة العمود :

$$P' = P + W$$

$$M' = M + H \times d$$

ح - بحسب مسطح الأساس بحيث تقع محصلة المؤثرات (القوى الرأسية والأفقية وعزم الحني) داخل منطقة الثلث الأوسط حتى لا يتعرض أحد جانبي الأساس لجهود شد لن تتوفر بين الأساس وسطح التربة .



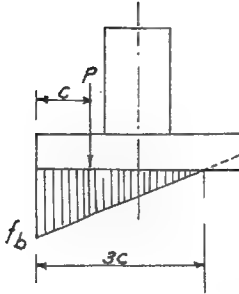
شكل (٨ - ٣٦)

والحد الأقصى في هذه الحالة هو أن تقع المحصلة في نقطة الثلث . (شكل ٨ - ٣٦) إذ يصبح توزيع الجهود على هيئة مثلث يشغل كل طول الأساس . ويتلأشى جهد التحميل عند الحرف البعيد عن الأساس ويبلغ $f_b = 0$

أقصاه عند الحرف الآخر حيث تصل قيمته إلى ضعف الجهد المتوسط ($\frac{P}{A}$)

$$f_b = 2 \frac{P}{A} \quad (8-29)$$

حيث P هي المركبة الرأسية للمحصلة و A مساحة سطح التحميل (مساحة الأساس).



هذا ، ويمكن أن تقع المحصلة في منطقة النصف الأوسط من سطح الأساس ، وفي هذه الحالة يميل ما يتعرض له سطح التربة من جهود شد ، وعندئذ يحسب جهد التحميل من واقع أن حجم منشور الضغط يساوي المركبة الرأسية للمحصلة .

شكل (٨-٣٧)

فإذا كان بعد القوة المزاحة عن حرف الأساس c فإن :

$$P = \frac{3c.b}{2} \times f_b$$

$$f_b = \frac{2P}{3c.b} \quad (8-30)$$

وعند ما تقع المحصلة في نقطة الزرع، تصل قيمة جهد التحميل إلى أقصاها :

$$f_b = \frac{8}{3} \frac{P}{A} \quad (8-31)$$

وفي جميع الحالات يجب ألا يتجاوز جهد التحميل الجهد المسموح به على تربة الأساس ، على أن يؤخذ في الاعتبار الزيادة في الجهد المسموح به عند احتساب ما تسببه المؤثرات الثانوية مثل ضغط الريح والصدمة الجانبية للمرفعات ، سواء بالنسبة للجهود في الخرسانة المسلحة أم للجهود على تربة الأساس .

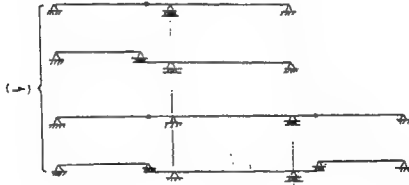
الفصل التاسع

الكراسي

(Bearings)

الكرسي هو ذلك الجزء من المنشأ الذي عن طريقه تنتقل الأحمال الواقعة عليه وكذلك القوى التي تؤثر عليه إلى الركيزة .

وتزود الكمرة البسيطة التحميل بكرسيين أحدهما ثابت (Fixed) والآخر متحرك (Movable) . ويقصد بالكرسي المتحرك أنه يسمح للكمرة بالحركة الخطية بينما يمنعها الكرسي الثابت من ذلك (شكل ٩ - ١١) .



شكل (٩ - ١)

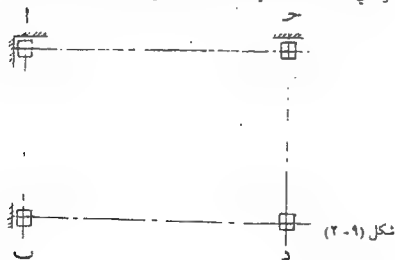
وتزود الكمرة المستمرة بكرسي واحد ثابت وتكون باقي الكراسي متحركة .
(شكل ٩ - ١ ب) أما الكمرة المفصليّة فيزود كل جزء منها بكرسين أحدهما ثابت والآخر متحرك (شكل ٩ - ١ ح) .

والغرض من الكرسي المتحرك هو السماح للمنشأ (أو جزء منه) بالحركة الناشئة عن ازدياد في الطول بسبب التمدد الناشئ عن التغير في درجة حرارته أو عن التغير المرن في طول الوتر السفلي مما يتسبب في استطالته (أو انكماشه) تحت تأثير الجهود التي تحدث فيه نتيجة الأحمال الخارجية . والمعتاد اعتبار أن التغير في طول العنصر بسبب التأثيرات المشار إليها يصل إلى نحو مليمتر واحد لكل متر من طوله .

أما الكرسي الثابت فإنه بالإضافة إلى نقله الأحمال الرأسية إلى الركيزة فإنه يقاوم القوى الأفقية الطولية والعرضية التي تتعرض لها الكمرة (أو الجمل) وينقلها إلى الركيزة .

ويجب أن يسمح كل من الكرسين للكمرة أن تدور في المستوى الرأسي لتأخذ شكل منحني الترخيم .

وإذا كان عرض المنشأ المترابط كبيراً كما في الجسور ، بحيث أن التغير في العرض بسبب التأثيرات الحرارية يكون واضحاً مما قد يؤثر على المنشأ نفسه أو على الكراسي أو على الركائز أو عليها كلها ، فإنه يجب مراعاة السماح للمنشأ بالحركة في الاتجاهين الطولي والعرضي ، كما في شكل (٩ - ٢) .



- أ - كرسي ثابت في الاتجاهين
- ب - كرسي ثابت في الاتجاه الطولي
- ج - كرسي ثابت في الاتجاه العرضي ، متحرك في الاتجاه الطولي
- د - كرسي متحرك في الاتجاهين .

كراسي الجمالونات

تتوقف طريقة تحميل الجمل على الركيزة على وضع الوتر السفلي . ويبين شكل (٩ - ٣) أنواعا مختلفة من العقدة عند ارتكاز الجمل . ويبين شكل (٩ - ٤) تلك العقد التي تختلف في الوتر السفلي الأفقي عنه في الوتر الذي يميل على الأفقي :

١ - إذا كان الوتر السفلي أفقيا عند عقدة الارتكاز :

فإن الحمل ينتقل من الجمل إلى الوتر السفلي مباشرة وذلك عن طريق لوح التجميع في العقدة عند الكرسي حيث تنتقل إليه القوى من العضو أو الأعضاء التي تتصل به كما في الأشكال رقم (٩ - ٣) من ١ إلى ٥ وتفاصيلها بالأشكال رقم (٩ - ٤) من ١ إلى ٥ .

٢ - إذا كان الوتر السفلي مائلا عن الأفقي أضيفت إلى العقدة عند الكرسي زاويتان تسميان زاويتي الخذاء حيث ينتقل الحمل إليهما من لوح التجميع في تلك العقدة كما في الأشكال رقم (٩ - ٣) من ٦ إلى ٩ وتفاصيلها بالأشكال رقم (٩ - ٤) من ٦ إلى ٩ .

اختيار الكرسي :

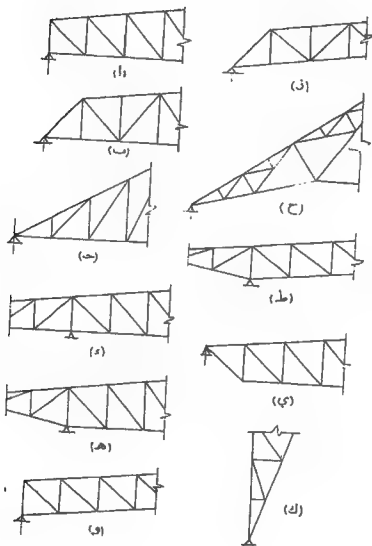
يتوقف اختيار نوع الكرسي على العوامل التالية :

١ - الأحمال الواقعة على الكرسي ، والقوى المؤثرة عليه واتجاهاتها .

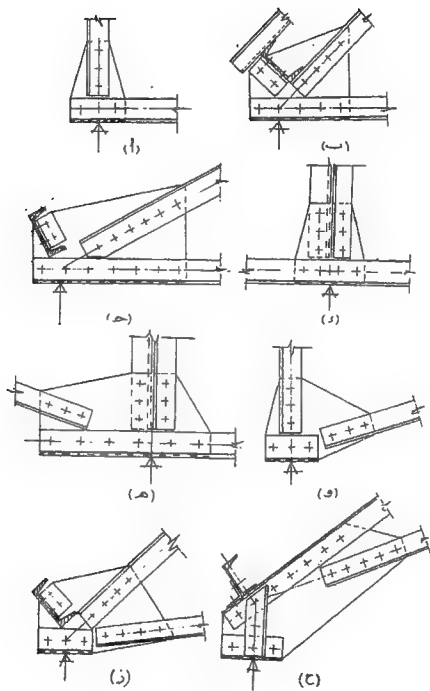
٢ - مادة الركيزة وجهد التحميل عليها .

٣ - كون الكرسي ثابتا أو متحركا

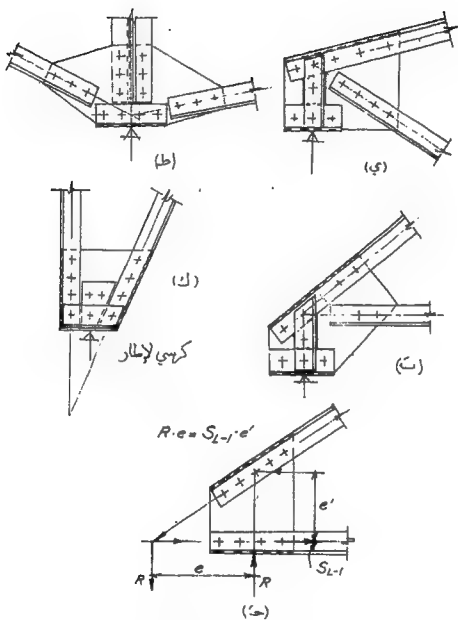
٤ - طول بحر الجمل ومقدار الحركة المتوقعة واتجاهها .



شكل (٩ - ٣) أوضاع البوتر المطبق



شکل (۹-۴)



تفاصيل العقد عند الكرسي

تابع شكل (٩-٤)

يحسب الكرسي ليقاوم الأحمال الرأسية من أحمال ميتة وأحمال حية ثابتة أو متحركة أو متدرجة بما في ذلك تأثيرها الديناميكي ، وكلها تعتبر من المسببات الرئيسية للجهد ، كما يحسب - إضافة إلى هذه الأحمال - ليقاوم القوى الأفقية ، طولية وعرضية ، كضغط الريح والقوى الناشئة عن حركة الأحمال المتدرجة وعن الاحتكاك فيما بين أجزاء الكرسي ، وهذه القوى من المسببات الثانوية للجهد وعندئذ ترفع الجهد المسموح بها إلى الحدود المقررة بالمواصفات . كما يحسب الكرسي ليقاوم ما قد يتعرض له من قوة نازعة مثل تلك الناشئة عن قوة الريح الماصة أو التي تحدث في الكمرات المستمرة . كل هذه الأحمال والقوى يجب نقلها إلى الركيزة في حدود الجود المسموح بها لمادتها .

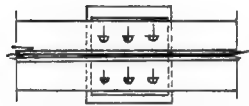
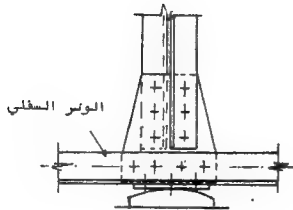
الكرسي الجهاون السطح :

هذا الكرسي من النوع اللوحي ويتكون من لوحين :

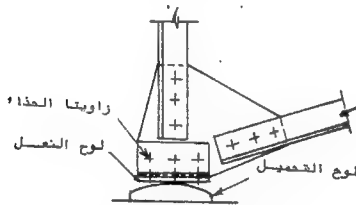
أ - لوح النعل (Sole plate) وهو لوح ذو سطح مسنن تزود به العقدة عند نقطة الارتكاز . ويربط (أو يلحم) اللوح بزاويتي الوتر السفلي متمركزا بالنسبة لمركز العقدة أو يربط بزاويتي الحذاء . وعند استخدام البراشيم يجب أن تكون رؤوسها غاطسة من الأسفل .

ويؤخذ طول لوح النعل أكبر ببضعة ملليمترات من عرض الزاويتين المربوط فيهما (زائدا سمك لوح التجميع) ، أما عرضه فيتوقف على طراز الكرسي . وعلى العموم يجب ألا يقل عما يتسع لصفين من البراشيم ويفضل ألا يقل عن طول زاويتي الحذاء . ويجب ألا يقل سمك لوح النعل عن ١٢ مم .

ب - لوح التحميل (Bearing Plate) وهو ما يرتكز عليه الجهاون وعن طريقه تنتقل الأحمال والقوى التي تؤثر على الجهاون إلى الركيزة . وتحسب مساحة لوح التحميل بحيث تكون الجهود على سطح الركيزة ، الناشئة عن الأحمال الميتة والحية وغيرها من القوى ، في حدود المسموح بها لمادة الركيزة .



١ - الوتر السفلي مستقيم



ب - الوتر السفلي مائل

شكل (٩-٥)

ولما كان ارتكاز الجهالون على الكرسي من الوجهة النظرية عبارة عن نقطة أو بالأحرى خط عمودي على مستوى الجهالون عند نقطة الارتكاز فإن تماس سطح مقوس ، هو السطح العلوي للوح التحميل مع سطح مستو ، هو السطح السفلي للوح النعل يمثل عمليا خط الارتكاز المذكور . ويكون تقوس السطح اسطوانيا دائريا .

هذا ، وعندما تكون الأحمال خفيفة ويكون بحر الجمل صغيرا يمكن استبدال لوح التحميل المقوس بلوحين ملحومين ، (شكل ٩-٦) ، العلوي ضيق ويمثل مرتكز الجهالون وقد يكون مستويا وقد يكون مقوسا للأحمال الأكثر أهمية (وزنا وبحرا) .



شكل (٩-٦)

الاحتكاك في الكرسي اللوحى :

في الكرسي المتحرك من الطراز اللوحى ينزلق فولاذ على فولاذ وبذلك يكون هناك مقاومة يحددها معامل الاحتكاك وهو يقدر بنحو ١٥٪ ولكن المواصفات تتطلب أن تحسب قوة المقاومة للانزلاق بمقدار ٢٠٪ من الحمل الواقع على الكرسي .

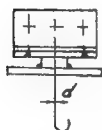
إرساء الجهالون على الركيزة :

تقصد بالإرساء تثبيت الجهالون على الركيزة بحيث لا يتحرك أفقيا إلا حيث يسمح له ولا يتحرك رأسيا إطلاقا ، أي ينقل القوى الأفقية والقرى

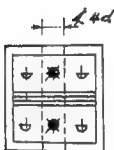
النازعة إلى الركيزة وذلك عن طريق مسامير الجاويط . ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

أ- الإرساء المباشر :

يمر الجاويط ، الذي يدفن في الركيزة ، خلال كل من لوح التحميل ولوح النعل وزاويتي الخداء (أو زاويتي الوتر السفلي)



وفي الكرسي الثابت تكون جميع الثقوب التي يمر بها الجاويط دائرية . أما في الكرسي المتحرك فتعمل الثقوب في زاويتي الكرسي ومعها لوح النعل ببيضاوية وتسمى (مشقبة) ، ويتوقف طول الثقب على التمدد المنتظر في الجالون . وبذلك يتمكن الجمل من التحرك طوليا بينما يثبت لوح التحميل بالركيزة . وما دام الجاويط يمر في لوح التحميل العلوي فإن عرضه يجب ألا يقل عن ٤ أمثال قطر الجاويط . وهنا يعمل الجاويط على مقاومة القوى الأفقية أيًا كان اتجاهها على الكرسي الثابت ، وعلى مقاومة القوى الأفقية الجانبية أي العمودية على مستوى الجمل بالنسبة للكرسي المتحرك .

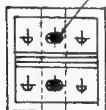


مقطع الكرسي

الثابت

كما تقاوم الجاويطات القوى النازعة (Uplift) مثل قوة مص الرياح ومثل القوة الرافعة للطرف المحمل من كمرة كابولية ولا سيما عندما يكون طرفها الحر طويلا .

ثقب بيضاوي



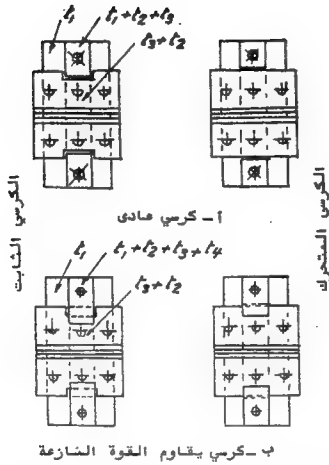
مقطع الكرسي

المتحرك

شكل (٩ - ٧)

ب- الإرساء من الخارج :

في هذه الحالة تمر الجاويطات في لوح التحميل دون زاويتي الجالون (شكل ٩ - ٨) .



l_1 = سمك لوح التحميل السفلي
 l_2 = سمك لوح التحميل العلوي
 l_3 = سمك زاويتي الحذاء + ١ مم
 l_4 = خاصية لمقاومة القوة النازعة
 (لجام) سمك ١٠ مم

شكل (٨-٩)

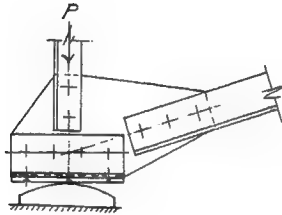
ويزود الكرسي بقطعتين لوحيتين تضبطان محوري الجمل وتحكيان حركة مملدة عند الطرف المتحرك وتمنعانه من الحركة تحت الطرف الثابت . كما في شكل (٨-٩) الذي يوضح طرازين من هذه الكراسي :

إذا لم يكن الكرسي معرضاً لقوة نازعة اكتفي بالوضع المبين في شكل (٨-٩)

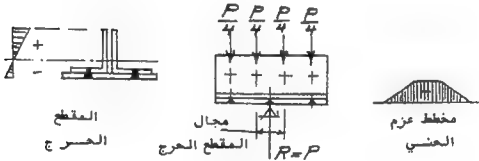
فإذا كان الكرسي معرضاً لقوة نازعة زود لوح التحميل بلجامين كل منهما عبارة عن خوصة تمتد فوق الرجل الأفقية لزاوية الحمل كما في شكل (٩-٨) .

حساب الكرسي اللوحي

أولاً - حساب لوح التمل :



العقدة عند الكرسي



شكل (٩-٩)

لما كان لوح التجميع لا يصل إلى حافتي زاويتي الكرسي ، فإن الحمل المنقول إليهما من لوح التجميع خلال براشيم الوصل يتسبب في حدوث عزم حني حول (نقطة) الارتكاز (شكل ٩-٩) . ويقاوم عزم الحني هذا مقطع

مكون من زاويتي الكرسي ولوح النعل ويحدث شد في أعلاه وضغط في أسفله . وتوجد في هذا المقطع ثقب للجاويطين أو لبراشيم رأسية وأخرى لبراشيم أفقية وتجب مراعاتها عند حساب معايير المقطع .

ثانيا - حساب لوح التحميل :

ينتقل الحمل من عقدة الارتكاز إلى لوح التحميل عند خط التحميل، وتوقف الكيفية التي يوزع بها الجهد على سطح الركيزة على جساءة هذا اللوح ويحتمل أن يكون التوزيع غير منتظم وأنه يبلغ أقصاه عند خط التحميل ويقل نحو الأطراف ،

ولعله يبلغ أدناه عند الأركان .

إلا أننا لو افترضنا توزيعا منتظما

للجهود على سطح الركيزة كان

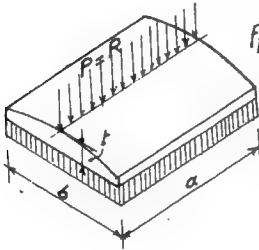
ذلك في جانب الأمان (شكل

٩ - ١٠) ومن هذا الفرض

نحسب المساحة اللازمة للوح

التحميل من المعادلة .

$$A = \frac{P}{f_b^c}$$



شكل (٩ - ١٠)

حيث P = الحمل الواقع على الكرسي ويساوي رد فعل

الركيزة R و f_b^c = جهد التحميل لمادة الركيزة .

ويتوقف اختيار مقاسي لوح التحميل - طوله وعرضه - على مقاس

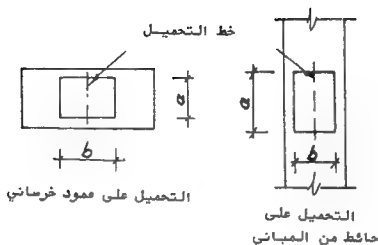
الركيزة ، فإذا اعتبرنا أن عرض اللوح b هو المقاس في اتجاه مستوى الجمل

وأن طوله a هو المقاس عموديا على ذلك المستوى ، كان العرض أكبر من

الطول عندما يكون الارتكاز على عمود من الخرسانة المسلحة ، وكان الطول

أكبر إذا كان الارتكاز على غدة خرسانية فوق حائط من المباني كما في شكل

(٩ - ١١) ويكون سمك اللوح في الحالة الأولى أكبر .



شكل (٩-١١)

ويُعمل لوح التحميل ببيئة كابولي مزدوج مركّز من أعلاه ومحمل من أسفله وبذلك يكون المقطع الحرج في المنتصف حيث عزم الحني (شكل ٩ -

$$M = f_b \times a \times \frac{b}{2} \times \frac{b}{4} \quad (١٢):$$

$$= \frac{R b}{8} \quad (9-1)$$

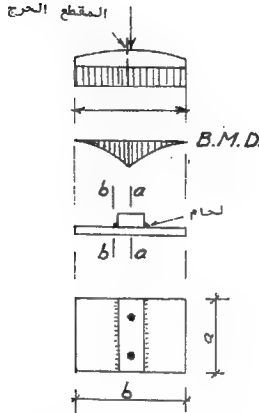
فإذا كان سمك لوح التحميل t ، كان معايير المقطع الحرج :

$$Z = \frac{at^2}{6} \text{ ويكون عزم مقاومة المقطع}$$

$$M_R = \frac{at^2}{6} \times f_{ot}$$

وبمساواة العزمين :

$$t = \sqrt{\frac{3}{4} \frac{R.b}{a.f_{ot}}} \quad (9-2)$$



شكل (٩-١٢) حساب لوح التحميل

وعندما يكون لوح التحميل مكوناً من قطعتين ملحومتين فإن سمك اللوح السفلي يحدد من المقطع الحرج $b-b$ عند حافة اللوح العلوي . ويلاحظ أنه يجب لحام اللوحين لحاماً مستمراً .

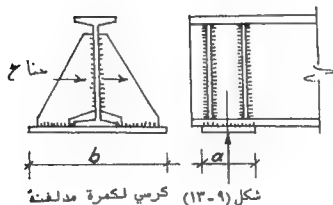
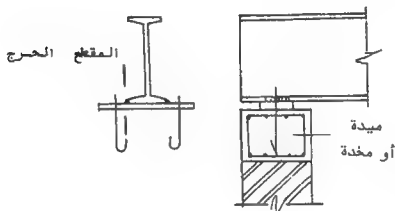
وإذا مر بلوح التحميل جاويطان ، وجب مراعاة ما يفقد من المقطع الحرج $a-a$ بسبب الثقبتين .

الكمرية مدلفنة :

يكفي في هذه لوح تحميل فقط يلحم بشفة الكمرية عند مركزها ويراعى أن يكون عرض اللوح محدوداً حتى يعطي الكمرية حرية الدوران المرنة ، كما

يجب أن يتمركز على الجدار أو العمود الحامل . والمقطع الحرج للوح التحميل في هذه الحالة يكون عند حرف شفة الكمرة .

وفي الكمرات الثقيلة حيث يمتد لوح التحميل يمكن سنده بأجنحة لزيادة جسامته . وتعمل هذه الأجنحة في الوقت نفسه بهيئة كزازات لمقاومة تحنّب جذع الكمرة .

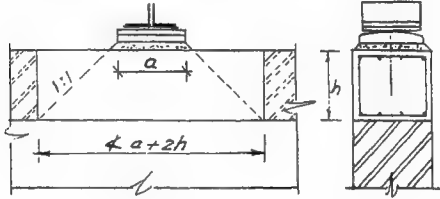


مادة الركيزة :

عند تحميل جبالون أو كمرة على مبان فإن اختيار مادة الركيزة يتوقف على مقدار الجهود التي تتعرض لها ، كما يتوقف على ما يؤثر عليها من قوى أفقية .

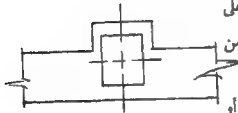
فإذا كان الحمل رأسياً غير مصحوب بقوى أفقية أو كانت القوة الأفقية ضئيلة أمكن تحميل الجبلالون على حائط من المباني ، ولكن لا ينصح أن يكون التحميل على المباني مباشرة ، إلا إذا كانت من حجر على درجة كافية من الصلابة .

فإذا كان الحائط من مباني الطوب أو البلوك فلما أن يزود الحائط بميدة (كمرة مستمرة) من الخرسانة المسلحة تعمل بصفة رابط للمباني ، وإما أن تعمل تحت كل كرسي مخدة من الخرسانة التي يفضل أن تكون مسلحة وظيفتها توزيع حمل الجمل على الحائط في حدود الجهود المسموح بها لمادته . ومن هنا يحدد طول المخدة وعمقها ، أما عرضها فغالبا ما يكون مساويا لعرض الحائط . ويجب التحقق في هذه الحالة من تمركز الكرسي بالنسبة للحائط (شكل ٩ - ١٤) .



شكل (٩-١٤) - المخدة الخرسانية

هذا وقد يزداد سمك الحائط عند الكرسي لزيادة جسامته ومقدرته على التحمل وتعتبر هذه الزيادة عموداً من المباني .



شكل (٩-١٥)
مقطع أفقي
لحائط زيد سمكه

وعندما يكون بحر الجمل كبيراً أو إذا كانت القوى الأفقية عمودية ، ومن بينها مقاومة الاحتكاك في الكرسي وجب

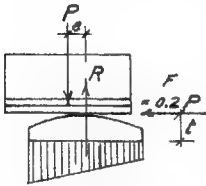
تحميل الجمالون على عمودين من الخرسانة المسلحة بعملاق في هذه الحالة هيئة كابولي مثبت عند الأساس . وبحسب العمود ليقاوم الحمل الرئيسي وعزم الحني الناشئ عن القوى الأفقية والذي يبلغ أقصاه عند الأساس . والمفروض أن العمود الذي يحمل الكرسي الثابت هو الذي يقاوم القوى الأفقية ولكن العمود الآخر أيضا يتعرض لقوة الاحتكاك في الكرسي ولهذا يجب أن يكون العمودان متماثلين .

وبحسب أساس العمود ليقاوم الحمل من الجمالون ووزن العمود ووزن ما يحمله من جذران وكذلك عزم الحني الناشئ عن القوى الأفقية التي تؤثر على الجمالون وكذلك القوى الأفقية التي تؤثر عليه في كامل لارتفاعه ، ويجب أن تكون الجهود على مستوى التأسيس في حدود تحمل التربة .

الجهود المسموح بها لمادة الركيزة (عن المواصفات المصرية)

- الأحجار الصلبة ٤٠ كج / سم^٢
- الخرسانة المسلحة ٥٠ كج / سم^٢
- الخرسانة المسلحة تسليحا ثقيل ٧٠ كج / سم^٢

وتزاد هذه القيم بمقدار ٢٠٪ إذا روعي في الحساب أكبر تجمع للأحمال الأساسية ولتأثرات الجهد الإضافية .



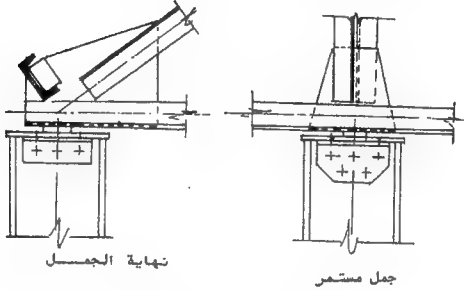
عدم التمرکز عند الكرسي
شكل (٩-١٦)

ويلاحظ في حالة الكرسي المنزلق انه اذا كان البحر كبيرا بحيث يكون التغير في الطول كبيرا فان الحمل ينتقل الى الكرسي في غير مركز العقدة وبذلك يحدث عزم حني على براشيم زاويتي الكرسي $P \times e$ (شكل ٩ - ١٦) كما تسبب قوة الاحتكاك عزم حني مقداره $0.2 P \times e$ يعمل توزيع الجهود على سطح الركيزة غير منتظم .

ويحدث مثل ذلك التوزيع تحت الكرسي الثابت ، حيث يقاوم القوى الأفقية التي تؤثر على الجبالون وتنقل عن طريقه إلى الركيزة .

التحميل على عمود فولاذي :

في هذه الحالة يكون لوح التحميل هو لوح الرأس للعمود ويحدد مقامه ليناسب مقطع العمود (شكل ٩ - ١٧) .

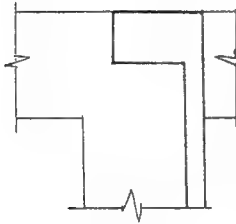


شكل (٩-١٧) تحميل جمل على عمود

الفصل العاشر

تربيط المنشآت الفولاذية

(Bracing of steel structures)

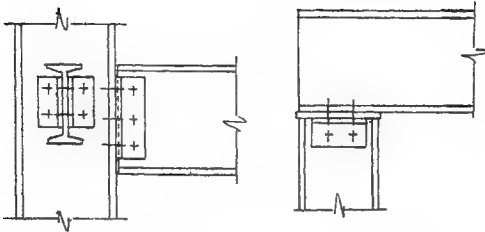


عناصر مترابطة منشأ
بيتوني

شكل (١٠-١)

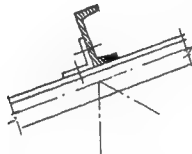
تختلف المنشآت الفولاذية عن
المنشآت البيتونية في أن الأخيرة تكون
مكوناتها مترابطة وذلك بسبب طريقة
إنشائها . ويطلق عليها أنها
Monolithic إذ تتداخل أعضاؤها
وعناصرها ويكون اتصالها بوصلات
جسيمة ، كما أن لبلاطات الأسقف
دوراً كبيراً في تماسك أجزاء المنشأ .
شكل (١٠-١) .

وليس هذا شأن المنشآت المعدنية ، حيث تكون وصلاتها عادة غير
جسيمة ، بل لقد اصطلح على تسميتها مفاصل ، رغم أنها ليست مفاصل
كاملة إذ أنها تحدث مقاومة للدوران تسبب في حدوث عزم ، أي أن بها بعض
الجبساة شكل (١٠-٢) .



ب كمراة متملة بععود

ا كمرة ترتكز على عمود



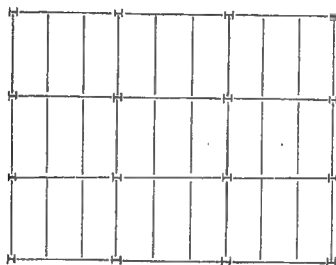
ج مدادة على سطح جمل

شكل (١٠-٧) اتصال عناصر المنشآت المعدنية

وفي مجال المنشآت المعدنية يجب التمييز بين نوعين من المنشآت :

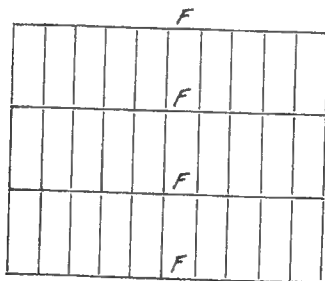
- ١- منشأ مكون من مجموعة من الأعمدة تحمل كمراة في كلا الاتجاهين كما في المنشآت التي يسمح فيها بوجود أعمدة على مسافات لا تزيد على ستة أمتار (مثلاً) (شكل ١٠ - ٣) ، كالمباني التجارية والمخازن والمصانع ذات الأدوار المتعددة . وتعتمد هذه المباني في استقرارها على الجساءة الجزئية في وصلاتها كما تعتمد على أغطية السطح ولا سيما لو كانت من الخرسانة .

فإذا ارتفعت المباني وزاد عدد الأدوار فيها صممت الوصلات لتقاوم عزوم الحني التي تتعرض لها .



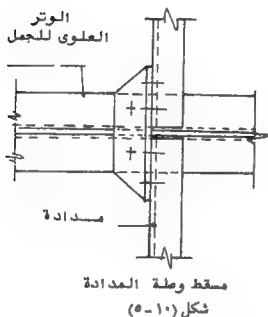
شكل (١٠-٣)

ب - منشأ مكون من مجموعة من العناصر الرئيسية الحاملة في أحد الاتجاهين مثل الإطارات المرموز لها بالحرف F (شكل ١٠ - ٤) ، ترتكز عليها



شكل (١٠-٤)

عناصر ثانوية تنقل إليها أحمالها وذلك شأن المباني التي تتطلب مساحات كبيرة خالية من الأعمدة . وتكون العناصر الرئيسية قادرة على مقاومة جميع الأحمال والقوى الواقعة في مستواها ، الرأسية منها والأفقية .
وقد سبق أن أوضحنا أن ربط العناصر الثانوية (مدادات السطح) بالكمرات الرئيسية ليس جسيماً بل أن الوصلة ليست لها أي مقاومة للحني أو الدوران (شكل ١٠ - ٢ حـ) و (شكل ١٠ - ٥) .



وشبيه بها المدادات الجانبية على الأعمدة ، لذلك فإن مقاومة القوى الأفقية عمودياً على مستوى العناصر الرئيسية وكذلك نقلها إلى الأرض ، وكذلك ارتباط أجزاء المنشأ بعضها ببعض لا يجعل منها منشأ مستقراً .

وهنا نورد تعريف المنشأ كما نعتقد أنه أوفق تعريف :

المنشأ : هو تكوين يستقبل ما يلقي إليه من أحمال وما يؤثر عليه من قوى وعليه أن يقاوم تأثيرها بأمان ، أي في حدود الجهد المسموح به لمادته ، ثم يوصل تلك الأحمال والقوى إلى الأرض بأمان أيضاً (من هنا يعتبر الأساس جزءاً من المنشأ) ، وذلك في حدود الجهد المسموح به للتربة .

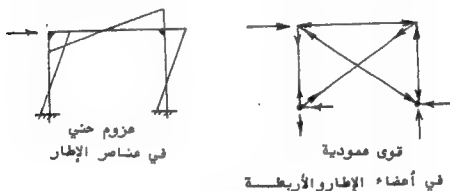
فليس يكفي في درس المنشأ أن نستطيع تصميم جالون أو إطار ولكن يجب دراسة كيفية اتصالات أجزاء المنشأ بعضها ببعض بحيث يتكون منها تكوين مترابط يحقق الغرض منه .

وليس الغرض من تربيط المنشآت المعدنية قاصراً على أن تعمل أجزاء المنشأ بعضها مع بعض في وحدة ، لمقاومة القوى والأحمال في جميع الاتجاهات ، بل أن للتربيط أغراضاً أخرى هامة نوضحها فيما يلي :

دواعي تربيط المنشآت المعدنية

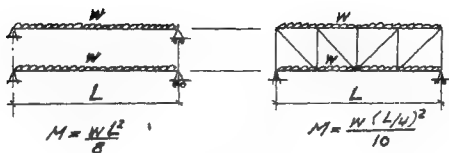
يلزم تربيط عناصر المنشآت المعدنية بأنظمة راسية أو أفقية أو بأنظمة أفقية وراسية لبعض الأغراض الآتية أو لجمعها :

أولاً - تخليص الإطار من عزوم الحني الناشئة عن القوى المركزة التي تؤثر عليه والتي يمكن نقلها عن طريق الأربطة ، وبذلك يتحول تأثيرها إلى قوى عمودية في أعضاء الإطار وفي الأربطة (شكل ١٠ - ٦) .



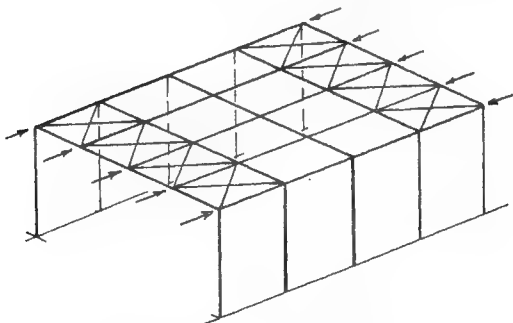
شكل (١٠ - ٦)

ثانياً - تخفيف عزوم الحني على عنصر مثل الكمرات حيث يتحول معظم تأثيرها إلى قوى عمودية في أجزاء الكمرة . ففي شكل (١٠ - ٧) يتبين أن قيمة عزم الحني تنقص إلى $\frac{1}{4}$ عندما تتحول الكمرة إلى جبالون (هذا إضافة إلى القوى العمودية في عناصر الجبالون) .



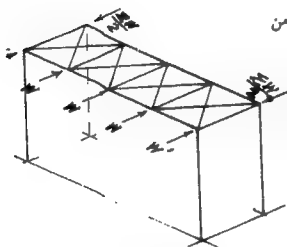
شكل (١٠-٧)

ثالثاً - مقاومة القوى الأفقية التي تؤثر على منشأ عمودياً على مستوى الإطارات الرئيسية بحيث لا يحدث في تلك الإطارات عزوم حني في المستوى العمودي على الإطار . والقوى الأفقية سواء أكانت طولية أم عرضية . وسواء أكانت ضغط ربح أم تأثيرات آلات رافعة ، إنما هي قوى منعكسة ولذلك يلزم الاحتياط لها . ففي شكل (١٠-٨) زُود السطح بنظامين للأربطة لمقاومة القوى الطولية ، كل في جهة .



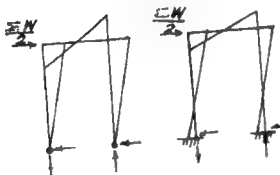
شكل (١٠-٨) قوى الريح منعكسة

رابعاً - نقل القوى الأفقية التي تؤثر على منشأ عمودياً على مستوى الهياكل الرئيسية حتى لا يحدث بأعضائها عزوم حني . ولما كانت القوى الأفقية تتجمع عند نهايتي نظام الأربطة الأفقي فإنه يلزم إيصالها إلى الأرض . ويتم ذلك عن أحد طريقتين :



شكل (١٠ - ٩)

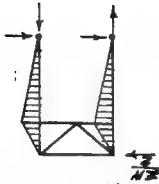
(ب) عن طريق إطار مكون من العمودين الرأسيين ، ومعهما العنصر الأفقي في أعلاهما والذي هو القائم الأول في النظام الأفقي (شكل ١٠ - ٩) ويجب أن تكون وصلتا الأعضاء جسيبتين لأن هذا الإطار سوف يتعرض لعزوم حني سواء افترضت قاعدتا العمودين مفصليتين أم مثبتتين (شكل ١٠ - ١٠)



شكل (١٠ - ١٠)

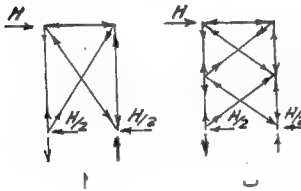
عند ذلك يؤثر على العمود عزم حني مزدوج : عزم حني في مستوى الهيكل الرئيسي وعزم حني في المستوى العمودي عليه .

ولما كان هذا الترتيب كثير التكلفة فإنه لا يلجأ إليه إلا إذا اقتضت الضرورة ذلك .



شكل (١٠-١٠) (ب)

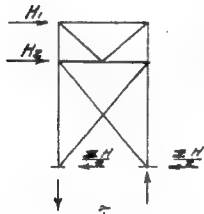
هذا ويمكن تخفيف عزوم الحني في الاتجاه الطولي بتزويد الإطار بجزء شبكي في أعلاه (شكل ١٠-١٠ ب) وبذلك ينقسم طول العمود ويقل طول التحنيط إضافة إلى تقليل عزم الحني فيه ، ولا سيما لو تعرض العمود لقوة أفقية في غير ركنه العلوي .



(ب) عن طريق نظام أربطة فيما بين العمودين ، وبذلك يصبح تأثير القسوة الأفقية عبارة عن قوى عمودية في العمودين ، وبالطبع في أعضاء الربط (شكل

١٠-١١) .

خاصاً - مقاومة الهزات الناشئة عن الآلات الدوارة ولا سيما تلك التي تحوي أنقال موازنة ، وكذلك الهزات الناشئة عن التأثير الديناميكي للأحمال المتحركة .



شكل (١١-١٠)

فالهزات الناشئة عن الآلات الدوارة ، مثلها مثل الهزات الأرضية (الزلازل) ، يمكن تمثيل تأثيرها بتأثير قوى أفقية . أما الهزات الناشئة عن التأثير الديناميكي فيشبه تأثيرها تأثير قوى راسية . وكل من هذه القوى تجب

مقاومتها وإيصاها إلى الأرض ويكون ذلك عن طريق الأربطة في المستويات الأفقية والرأسية عمودياً على المستوى الرئيسي للإطار .

سادساً - سند أعضاء المنشآت :

أ - سند وتر الضغط في الجبالون عمودياً على مستوى الجبالون لتقليل طول التحنيب في ذلك الاتجاه . وقد سبقت دراسة ذلك الموضوع بالتفصيل ابتداء من صفحة ١٨٦ .

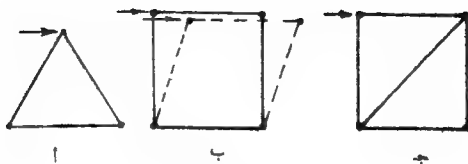
ب - سند وتر الشد لزيادة جساوته أي قدرته على مقاومة الهزات وبذلك عن طريق تقليل طوله الحر .

ج - سند العمود لتقليل طوله الحر المعرض للتحنيب في أحد الاتجاهين أو كليهما . و : ن الشكل (١٠ - ١١) أن الطول الحر للعمود في (ب) نصف طوله في (أ) .

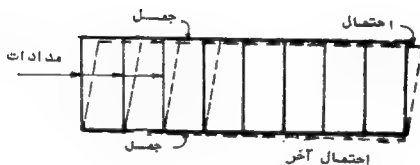
د - سند شفة الضغط في كمر (عمودياً على مستوى الجذع) لمقاومة التحنيب العرضي للشفة .

سابعاً - ضبط استقامة المنشأ والمحافظة على زواياه أثناء أعمال التركيب . فالثلث هو الشكل الذي يحتفظ بزواياه مهما كانت اتصالات أعضائه بعضها ببعض ، سواء أكان الاتصال على هيئة مفاصل أم كان اتصالاً جسيماً (شكل ١٠ - ١٢) . بينما الشكل الرباعي لا يحتفظ بزواياه (شكل ١٠ - ١٢ ب) إلا إذا كانت اتصالات أعضائه جسيمة . كما يحتفظ الشكل الرباعي بزواياه إذا أضيف إليه قطر (شكل ١٠ - ١٢ ج) .

فالمبنى المكوّن من جملين ومدادات لا يمكن ضبط زواياه طالما كانت وصلات المدادات بالجملين غير جسيمة (شكل ١٠ - ٢ ج) . فقد يتوازي الجملان ولكنها لا يصنعان مستطيلاً بل متوازي اضلاع (شكل ١٠ - ١٣) كما يمكن أن يميل أحد الجملين على الآخر . كما يمكن أن يحدث كلا الخطأين .



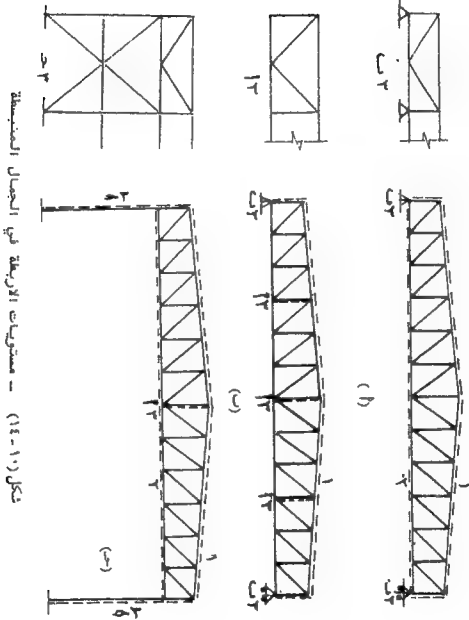
شكل (١٠-١٢)

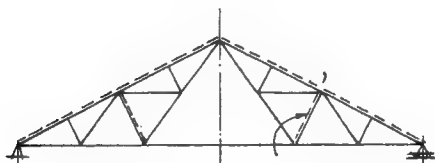
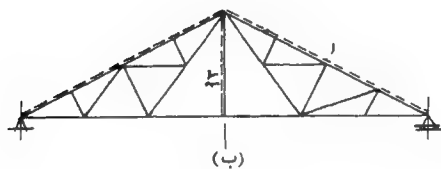
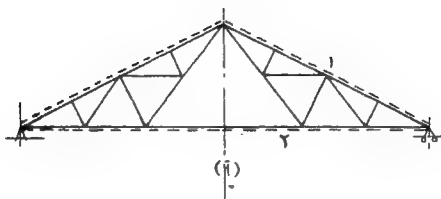


شكل (١٠-١٣)

وتعمل أقطار أنظمة الأربطة في كل من نهايتي المبنى على تلافي هذه الأخطاء المحتملة . كما تضبط الأربطة في المستويات الرأسية الأوضاع الرأسية للمبنى

مواقع أنظمة الأربطة



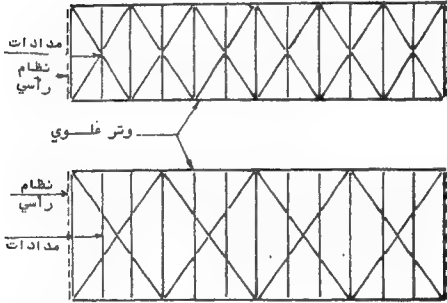


(ج) - اربطة في مستوى القائم العمودى على التوتر
العلوي لسند التوتر السفلي

شكل (١٠-١٥) مستويات الاربطة في الجبال المنحدرة

١ - في مستوى الوتر العلوي :

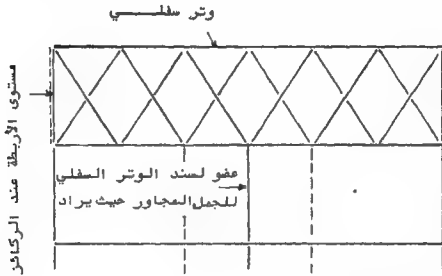
حيث يكون وتراه هما التوترين العلويين الحاملين متجاورين وحيث تكون مدادات السطح قوائمه . ويعمل هذا النظام على سند الوتر العلوي عمودياً على مستوى الجمل وعلى مقاومة ما يتعرض له الجمل من قوى ربح عمودية على مستواه عند ذلك للمنسوب ، ثم نقل تلك القوى إلى الأنظمة الراسية في الجوانب أو إلى ركائز الجبال حيث أن النظامين الراسيين عند الركائز أو في الجوانب تعتبر أنها الركائز لتلك الأربطة العلوية .



شكل (١٠-١٦) - الأربطة في مستوى الوتر العلوي

٢ - في مستوى الوتر السفلي:

حيث يكون وتراه هما الوترين السفين جملين متجاورين وإذا اقتضى الأمر أن يكون لهذا النظام قوائم أضيفت له أعضاء . ويعمل هذا النظام على سند الوتر السفلي عمودياً على مستوى الجمل وعلى مقاومة ما يتعرض له الجمل من قوى عمودية على مستواه عند ذلك المستوى سواء أكانت قوى الريح أم



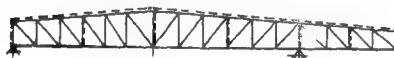
شكل (١٠-١٧) الأربطة في مستوى الوتر السفلي

القوى الطولية للمرفاع وحيد القضيب (Monorail) حيث ينقلها إلى الركائز (إذا كان الجمل مرتكزاً على مبان) أو إلى الجوانب إذا كان الجمل مرتكزاً على أعمدة فولاذية . حيث أن ركائز الجملين في الحالة الأولى والأربطة الرأسية بين الأعمدة في الحالة الثانية هي الركائز لتلك الأربطة السفلية . (شكل ١٠ - ١٧) .

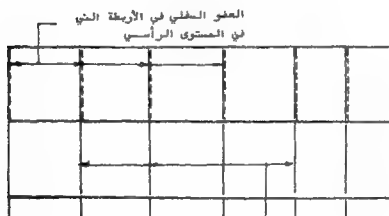
ويصبح سند الوتر السفلي أساسياً عندما يكون في حالة ضغط ، كما في الكابولات (شكل ١٠ - ١٨) .



أ - سند الكابولي بأربطة في مستوى الوتر السفلي



ب - سند الكابولي بأربطة في المستوى الرأسي



ج - أعضاء في مستوى الوتر السفلي

د - مقطع أفقي للأربطة في المستويات الرأسية في (ب)

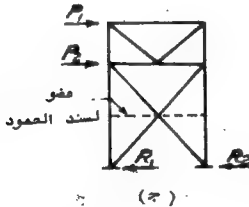
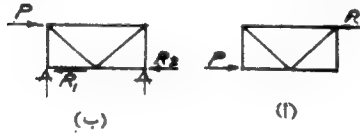
شكل (١٠-١٨) أنظمة الأربطة في الكابولات

٣- الأربطة في المستوى الرأسي :

وهي تستعمل في الأوضاع التالية :

أ- أنظمة الأربطة في المستويات الرأسية المتوسطة : يمكن أن تحمل أنظمة الأربطة في المستوى الرأسي عمل الأربطة في المستوى الأفقي (كما في شكل ١٠ - ١٤ ب وشكل ١٠ - ١٨ ب وحـ) حيث تعمل على سند أي من الوترين لمقاومة تحنيبه عمودياً على مستوى الجمل ، كما تعمل على نقل القوى التي تؤثر عمودياً على مستوى الجمل من أحد المستويين إلى المستوى الآخر (شكل ١٠ - ١٨ ب و) .

ب- أنظمة الأربطة في المستوى الرأسي عند الكراسي : وهذه الأنظمة أساسية حيث تمثل الركائز للأربطة العلوية (شكل ١٠ - ١٩ ب و) . وتنقل القوى التي تؤثر على أربطة العلوية إلى الركائز خلال الأربطة الرأسية في مستوى الركائز .



شكل (١٠ - ١٩)

حـ - أنظمة الأربطة في مستوى الأعمدة : وهذه الأنظمة أساسية أيضاً فهي تعمل على نقل القوى التي تؤثر عمودياً على الجبالون سواء أكانت في مستوى الوتر العلوي أم في مستوى الوتر السفلي أم في كليهما من قوى ريح أو قوى مرفاع وحيد القضيبي وكذلك القوى التي تؤثر في مستوى الأعمدة مثل قوى الريح وقوى مرفاع علوي سيار ، إضافة إلى أنه يمكن الاستفادة من هذه الأنظمة في سند الأعمدة في الاتجاه العمودي على مستوى الجمل . وبذلك يقل طول التحنيب في ذلك الاتجاه .

تجدر ملاحظة أن نظام الأربطة المستخدم لسند أعضاء الضغط من أوتار وأعمدة يجب أن يكون مستمراً بطول المنشأ ، ويكون ذلك عن طريق قوائم في ذلك الاتجاه . وتعمل مدادات السطح في أربطة الوتر العلوي عمل القوائم .

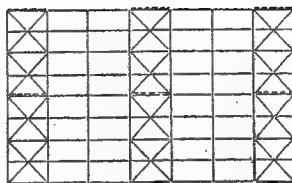
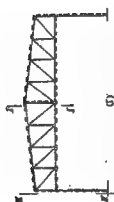
وإذا كان سماء السطح بلاطة من الحرسانة المسلحة كان فيه غناء عن نظام الأربطة في مستوى الوتر العلوي . إلا أنه من المفيد استخدام أربطة لضمان حسن التركيب . وهذه الأربطة يمكن فكها بعد تمام صب بلاطة السطح .

ويوضح الشكل ١٠ - ٢٠ رسماً متكاملًا لتربط مبنى :

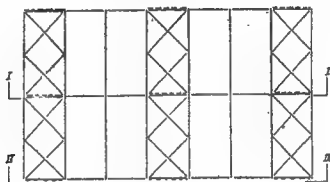
أنظمة الأربطة

يتوقف ترتيب أنظمة الأربطة على تحقيق الغرضين الرئيسيين من استخدام الأربطة وهما أولاً سند أعضاء الضغط جانبياً أي عمودياً على مستوى الهيكل الرئيسي وذلك لمقاومة التحنيب وثانياً مقاومة القوى الأفقية ثم نقلها إلى الأرض .

ويتوقف اختيار نظام الأربطة على مقياس البانوه الذي يحتوي على قطري الأربطة حيث يفضل أن تكون زاوية ميل القطر فيما بين ٣٥ و ٥٥ درجة إذ أن الميل القليل يتطلب مقاساً أكبر للوح التجميع الذي يربط به القطر .



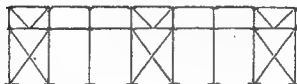
ب - مقطع أرضية الوتر العلوي



ب - مقطع أرضية الوتر السفلي



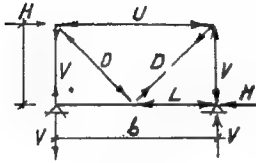
د - قطاع 1-1



د - قطاع 11-11

شكل (٢٠-١٠)

ونأخذ الوحدة التي تتكون منها الأربطة أحد الأشكال التالية :



شكل (١٠ - ٢١)

١ - أقطار على شكل K أو شكل V

وهي ملائمة للبانوه المستطيل

الشكل وتصنع الأقطار مع باقي

أعضاء البانوه نظاماً مقررراً

استاتيكيّاً . (شكل ١٠ - ٢١)

فلذا تعرض النظام لقوة H ،

كانت القوى في أعضاء البانوه كما

يلي :

$$S_U = -\frac{H}{2}$$

$$S_D = \pm \frac{H}{2 \sin \alpha}$$

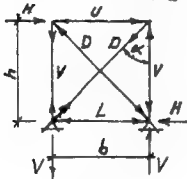
$$S_L = -H$$

$$S_V = \pm \frac{H \cdot h}{b}$$

٢ - أقطار متقاطعة (على شكل X) وهي ملائمة للبانوه المربع أو القريب من

المربع الشكل . ونظام الأربطة في هذه الحالة غير مقرر استاتيكيّاً . إلا أنه

يمكن حساب القوى في أعضائه بإحدى طريقتين :



شكل (١٠ - ٢٢)

١ - أن يكون القطران عاملين ؛ أي

أنهما يقاومان معاً القوة التي تؤثر

على البانوه وبذلك يتعرض

أحدهما لقوة شد والآخر لقوة

ضغط (شكل ١٠ - ٢٢)

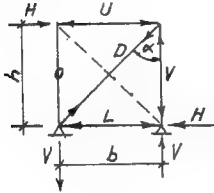
وتكون القوى في الأعضاء كما

يلي :

$$S_U = S_L = -\frac{H}{2}$$

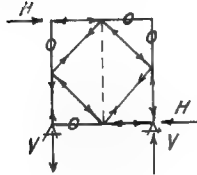
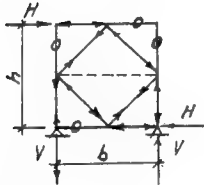
$$S_D = \pm \frac{H}{2 \sin \alpha}$$

$$S_V = \pm \frac{Hh}{2b}$$



شكل (١٠- ٢٢) ب

ب - أن يعمل قطر الشد فقط بحيث يفترض أن القطر الذي يتعرض لضغط غير قادر على مقاومته فيتجنب وبذلك يقاوم القطر الآخر : كل القوة المؤثرة على البانوه (شكل ١٠- ٢٢ ب) ، وتكون القوى في الأعضاء كما يلي :



شكل (١٠- ٢٣)

$$S_U = S_L = -H$$

$$S_D = + \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$S_V = - \frac{Hh}{b}$$

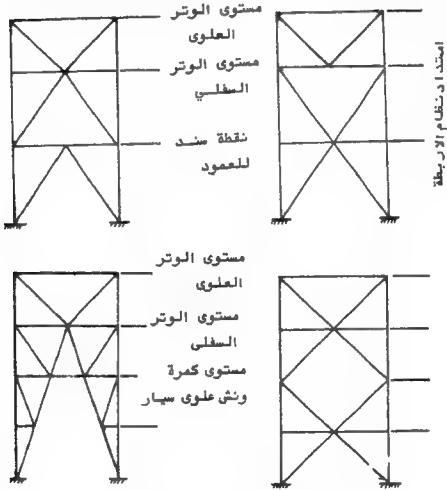
٣- أقطار على شكل المعين ، وهي ملائمة أيضاً للبانوه المربع أو القريب من المربع الشكل . ونظام الأربطة في هذه الحالة ينقصه عضو لاستكمال استقراره وإن كان مثل هذا العضو لا يتعرض لقوة . أما باقي الأعضاء فالقوى فيها كما يلي :

$$S_u = S_L = -H$$

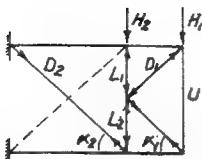
$$S_D = \mp \frac{H}{2 \sin \alpha}$$

$$S_V = \pm \frac{Hh}{h}$$

٤ - أنظمة متعددة في مستو واحد . وأغلب ما تكون هذه في المستويات الرأسية بين الأعمدة . ويبين شكل (١٠ - ٢٤) بعض نماذج لثل هذه الأنظمة .



شكل (١٠ - ٢٤) الأنظمة في مستوى الأعمدة



شكل (١٠-٢٥)

وتحسب القوى في الأربطة بين الأعمدة باعتبار النظام كابولي ، يُحَل من طرفه الحر (شكل ١٠-٢٥) .
١- (شكل ١٠-٢٥)

$$S_U = -\frac{H_1}{2}$$

$$S_{D1} = \pm \frac{H_1}{2 \sin \alpha_1}$$

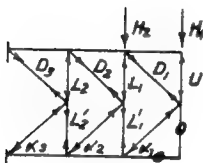
$$S_{D2} = \frac{H_1 + H_2}{\sin \alpha_2}$$

$$S_{L1} = -H_2$$

$$S_{L2} = -(H_1 + H_2)$$

ب- (شكل ١٠-٢٥ ب) :

$$S_U = -H_1 \text{ or } 0$$



شكل (١٠-٢٥ ب)

$$S_{D1} = \pm \frac{H_1}{2 \sin \alpha_1}$$

$$S_{L1} = -(H_2 + \frac{H_1}{2}) \text{ or } + \frac{H_1}{2}$$

$$S_{D2} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2 \sin \alpha_2}$$

$$S_{L2} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2}$$

$$S_{D3} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2 \sin \alpha_3}$$

ونجيب ملاحظة أن القوى الأفقية ، سواء أكانت قوى ربح أم قوى ناشئة عن حركة الأوناش هي دائماً قوى منعكسة ، وبالتالي فإن القوى في أعضاء الأربطة تنعكس ، أي تتبادل بعضها مع بعض ، مما يقتضي حساب الأعضاء على أسوأ الظروف .

حساب القوى في أنظمة الرياح الأفقية

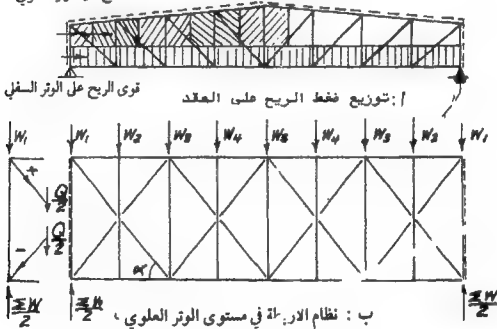
لما كانت أنظمة الرياح الأفقية تقاوم قوى الرياح عمودياً على مستوى الجمل ، فإن هذه القوى لا تظهر بكاملها إلا إذا كانت نهاية المبنى مغطاة بالواح من الصاج المجلفن أو الألمنيوم أو الإترنيت سواء أكانت تلك الألواح مستوية أم موجة ، وعندئذ تتوقف القوى التي تؤثر على أي من الأنظمة الأفقية على المستوى الذي تقع فيه تلك الأربطة وعلى الطريقة التي تنتقل بها تلك القوى إلى النظام الأفقي . وكذلك الحال بالنسبة للقوى الطولية الناشئة عن حركة مونوريل معلق بالأوتار السفلى للجبال .

الحالة الأولى :

جـال محملة على أعمدة خرسانية أو على حوائط .

أ - نظام أفقي واحد في مستوى الأوتار العلوية ، مع نظامين رأسيين في مستوى الركائز (شكل ١٠ - ٢٦) .

قوى الرياح على الوتر العلوي



شكل (١٠ - ٢٦)

تقسم المساحة المغطاة قسمين أعلاهما للوتر العلوي وأسفلها للوتر السفلي ولما كان الوتر السفلي في الاتجاه العمودي على الجمل قليل الجساءة فإنه من المنتظر أن يتحمل الوتر العلوي مساحة أكبر من الوتر السفلي . وتركز قوى الرياح عند عقد الوتر العلوي بينما يتعرض الوتر السفلي لعزم حني في الاتجاه العمودي على مستوى الجمل بتأثير قوى ربح موزعة بانتظام باعتبار بحر الوتر في ذلك الاتجاه هو المسافة بين الركيزتين .

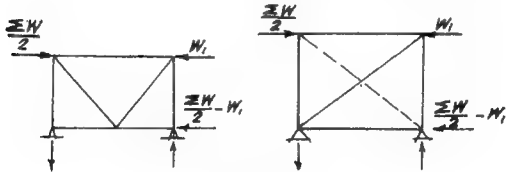
لما كان وترا النظام العلوي هما الوتران العلويان للجملين الرئيسين ، وكانت القواثم في هذا النظام هي مدادات السطح ، لزم إضافة الأقطار لتكملة ذلك النظام كما يلزم حساب القوى في تلك الأقطار . ولما كانت القوى في الأقطار أكبر ما يمكن عند الركائز فيكتفي عادة بحساب تلك الأقطار . وتحسب القوى في الأقطار من واقع قوة القص في البانوه الذي يشتمل على القطر المطلوب .

$$Q = \frac{\sum W}{2} - W_1 \quad \text{قوة القص في البانوه الأول}$$

$$S_0 = \pm \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad \text{القوة في كل من القطرين الأولين}$$

حيث α هي زاوية ميل القطر على الوتر .

وتؤثر على نظام الأربطة الرأسية عند الركيزتين قوتان أفقيتان في أعلاه (شكل ١٠ - ٢٧) .



شكل (١٠ - ٢٧)

وركيزتا هذا النظام هما ركيزتا الجملين الرئيسيين ، ولكن ارتكاز النظام الرأسي عليها ليس ارتكازاً بسيطاً بالنسبة لحساب ردي الفعل الأفقيين ، ويكون الحساب في جانب الأمان إذا افترضنا أن هناك رد فعل واحد عند إحدى الركيزتين ولا سيما تلك التي تسبب ضغطاً في العضو السفلي . ونحسب القوى في الأعضاء كما سبق بيانه .

أما قوى الريح التي تؤثر على الوتر السفلي للجمل الرئيسي فإنه يمكن القول إنها تنتقل مباشرة إلى الركيزتين حيث أن الركيزتين ثابتتان في الاتجاه العمودي على الجمل الرئيسي ،

ب - نظام أفقي في كل من مستوى الأوتار العلوية والأوتار السفلية ، مع نظامين رأسيين عند الركائز (شكل ١٠ - ٢٨) .

في هذه الحالة تقسم المساحة المغطاة بالتساوي فيما بين الوترين العلوي والسفلي وتركز قوى الريح عند عقد نظام الأربطة في مستوى الوتر العلوي وفي مستوى الوتر السفلي ويلاحظ أن نظام الأربطة السفلي عندما لا يحوي قوائم تكون أقطاره أطول وذلك يتطلب مقاطع أكبر . كما وأنه في مثل هذا النظام يمكن اعتبار أن أقطار الشد فقط هي الفعالة .

وفي أنظمة الأربطة - مثلها مثل الجمال متوازية الوترين - تكون القوة الكبرى في القطر الأول - أو القطرين الأولين - ونحسب القوى في قطري الأربطة السفلية بإحدى طريقتين :
القوى في قطري الأربطة السفلية بإحدى طريقتين :

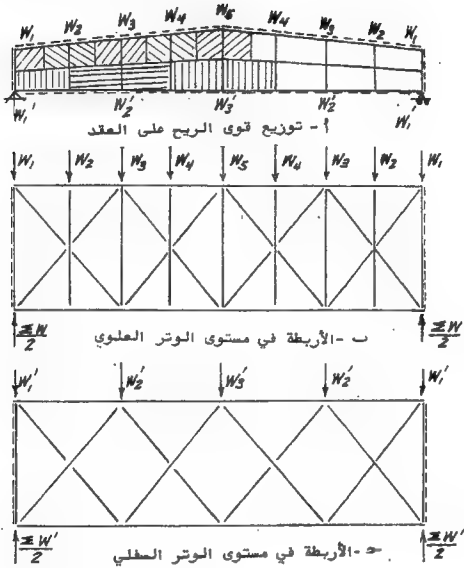
$$S_0 = \pm \frac{Q}{2 \sin \alpha} \quad \text{أ - القطران يحملان :}$$

$$S_0 = + \frac{Q}{\sin \alpha} \quad \text{ب - قطر الشد فقط يحمل :}$$

حيث:

$$Q = \frac{\sum W'}{2} - W'_1$$

α = زاوية ميل القطر على الوتر



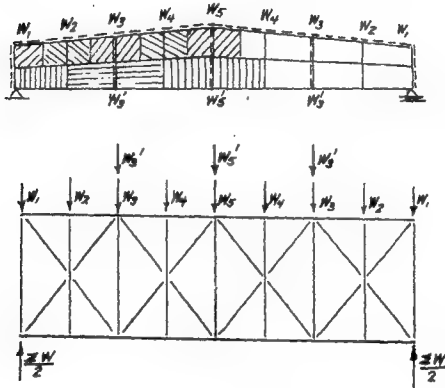
$$W'_1 = W_1 + \frac{1}{2} W_2$$

$$W'_2 = \frac{1}{2} (W_2 + 2W_3 + W_4)$$

$$W'_3 = W_4 + W_5$$

شكل (١٠-٢٨)

حـ - نظام أفقي في مستوى الأوتار العلوية ، مع أنظمة رأسية في بعض المواقع إضافة إلى النظامين الرأسيين عند الركائز (شكل ١٠ - ٢٩)



شكل (١٠ - ٢٩)

في هذه الحالة تؤثر القوى على النصف العلوي من المسطح على نظام الأربطة العلوي موزعة بانتظام عند العقد (القوى W_1) أما القوى على النصف السفلي من المسطح فتنتقل خلال الأربطة الرأسية إلى نظام الأربطة العلوي ، مركزة في مواقع الأربطة الرأسية .

وتنتقل القوى من النظام الأفقي في مستوى الوتر العلوي إلى الركائز خلال النظامين الرأسيين عند الركائز .

وتحسب القوة في الفطر الأول - أو في الفطرين الأولين - والتي هي أكبر ما يمكن - بالطريقة نفسها التي اتبعت في الحالة السابقة .

الحالة الثانية

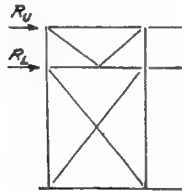
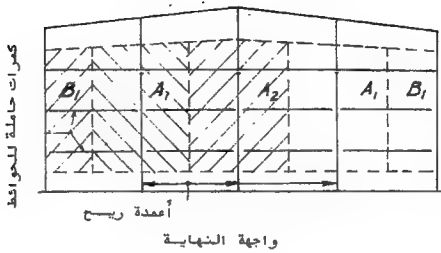
جمال محملة على أعمدة فولاذية ، بما في ذلك عمودا النهاية ، مكونة إطارات . فإذا كانت النهاية مقفلة أي مغطاة بالواح معدنية (من الفولاذ المجلفن أو الألمنيوم) أو ألواح إترنيت أو كانت حائطاً من مباني الطوب أو البلوك فإنه بسبب اتساع رقعة هذه النهاية فإنها يلزم تزويدها بأعمدة تسمى أعمدة الريح تحمل كمراة على أبعاد تناسب أطوال ألواح التغطية أو تناسب الارتفاع المعتاد للمباني بالنسبة للمسك المقترح لها .

ويمكن أن تأخذ الأربطة في هذه الحالة أحد نظامين :

أ - تزود نهاية المبنى فيما بين الإطارين الأخيرين بأربطة أفقية في مستوى الوتر السفلي إضافة إلى الأربطة الأفقية في مستوى الوتر العلوي .

في هذه الحالة يقاوم نظام الأربطة الذي في مستوى الوتر العلوي ضغط الريح على الجزء العلوي من سطح الجمل ، بينما يقاوم نظام الأربطة الذي في مستوى الوتر السفلي ضغط الريح على الجزء السفلي من سطح الجمل ، كما يقاوم ضغط الريح على حائط النهاية الذي ينتقل إليه على هيئة قوى مركزة عن طريق أعمدة الريح ، كل في المساحة التي يشغلها من سطح الحائط (المساحات A) .

وتنتقل القوى من هذين النظامين إلى الأساسات عن طريق نظام الأربطة الرأسي في كل من الجانبين . فتؤثر في العقدة العليا من النظام الرأسي القوة R_u وتساوي رد فعل أربطة الريح العلوية . وتؤثر عند العقدة التالية القوة R_1 وتساوي رد فعل نظام الأربطة السفلي مضافاً إليه ضغط الريح على المساحة B_1 الذي ينتقل خلال عمود الركن . وتحسب القوى في أعضاء الأربطة الرأسية كما سبق (شكل ١٠ - ٢٥) .



شكل (١٠ - ٣٠)

ب - يزود المبنى فيما بين الجملين الأخيرين بأربطة رأسية عند مواقع أعمدة الرياح إضافة إلى الأربطة الأفقية في مستوى الوتر العلوي .

وفي هذه الحالة ينتقل ضغط الرياح الذي يؤثر على حائط النهاية كما يلي :

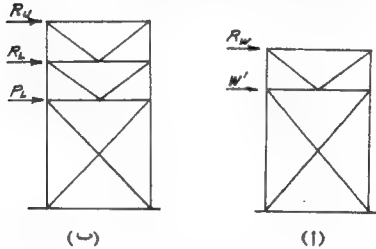
- ضغط الرياح على الجزء العلوي من مسطح الجمل وينتقل مباشرة خلال نظام الأربطة العلوي إلى نظامي الأربطة الرأسية الجانبيين .

- ضغط الرياح على الجزء السفلي من مسطح الجمل مضافاً إليه ضغط الرياح

على المساحات التي تشغلها أعمدة الريح أي التي تنتقل أحمالها إليها وينتقل كلاهما إلى عقد تقابل أعمدة الريح مع الأربطة الرأسية . ومن هذه العقد تنتقل القوى إلى أربطة الريح العلوية ومنها إلى نظامي الأربطة الرأسية الجانبيين .

- أما ضغط الريح على كل من المساحتين الطرفيتين (B1) من نهاية المبنى؛ فإنه فينتقل خلال عمود الركن إلى العقدة التالية من النظام الرأسي .

أي أنه في هذه الحالة ينتقل معظم ضغط الريح الى نظام الأربطة العلوية الذي ينقلها إلى النظامين الرأسيين الجانبيين (شكل ١٠ - ٣١) .



شكل (١٠ - ٣١)

- في المباني الصناعية التي تشتمل على ونش علوي سيار فإن الأربطة الرأسية الجانبية يجب أن تقاوم قوة الفرملة الطولية للنش وتنقلها إلى الأساسات وبذلك يجب أن يكون لنظام الأربطة الرأسية عقد عند مستوى كمره النش أي عند تقابل المستوى الذي تؤثر فيه القوة الطولية للنش مع مستوى الأعمدة .

وفي النظام الموضح بشكل (١٠ - ٣١ ب) يقاوم القطران العلويان قوة الريح الأفقية R_u عند العقدة العليا بينما يقاوم القطران التاليان قوة الريح

الأفقية R_u مضافاً إليها قوة الريح R_L عند مستوى الوتر السفلي . أما القطران المتقاطعان فيقاومان قوتي الريح مضافاً إليها القوة الطولية للونش . P_L

الحالة الثالثة

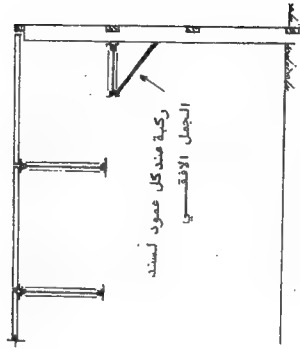
أن تكون الحوائط عبارة عن هيكل من الخرسانة المسلحة مكون من أعمدة حاملة للجملونات وكمرات حاملة للحوائط التي يتوقف تباعدها في الاتجاه الرأسي على ارتفاع الحائط والمادة المبنى بها وسمكه وعلى ترتيب النوافذ وغير ذلك ، ويشمل هذا كلاً من حائطي النهاية . وكثيراً ما يستغنى عن الجمل في نهاية المبنى بحيث يستمر الحائط حتى منسوب السطح حيث تتركز عليه المدادات في الباكية الأخيرة ، ويحدث هذا على الأغلب عندما لا يكون هناك إحمال لامتداد المبنى من أي من نهايتيه .

ويكون حائط النهاية في هذه الحالة قائماً بداته بحيث أنه كلما كان الحائط عريضاً أو كلما كان مرتفعاً أو كلما كان عريضاً ومرتفعاً ازداد تأثير الريح عليه ؛ لأنه تحت تأثير الريح يعمل بصفة كابولي وتحمل الأعمدة عبء مقاومة ذلك التأثير وهذا تكون الأعمدة كبيرة المقطع كثيرة التكلفة .

من أجل ذلك كان سند الأعمدة الخرسانية عمودياً على مستوى الحائط أمراً ضرورياً ، ويتم ذلك بإحدى طريقتين

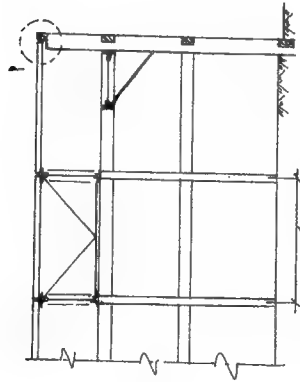
الأولى - بواسطة مدادات السطح بالباكية النهائية ولا يمكن اعتبار هذه المدادات سائدة إلا إذا صممت على اعتبار أنها أعضاء ضغط ، وفي هذه الحالة يلزم عمل نظام أربطة لسند المدادات نفسها . إضافة إلى نظام أربطة الريح الذي يجب وضعه في الباكية النهائية ، وتكون الزاوية الحاملة للمدادات ومعها الكمرة العليا وتر نظام الأربطة هذا .

وتنتقل قوى الريح على حائط النهاية عن طريق ذلك النظام إلى نظامي الأربطة الرأسية في الباكية قبل النهائية .



مقطع في الممنصف

(أ)

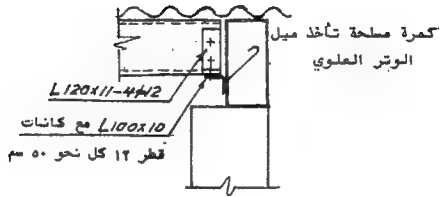


أربطة رأسية في الباكية قبل النهائية

مقطع عند الحائط الجانبي

(ب)

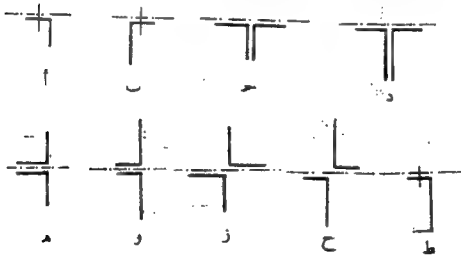
شكل (١٠-٣٧)



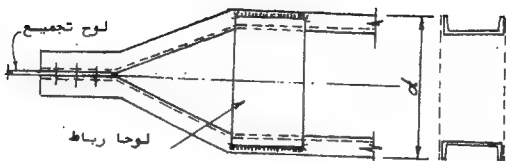
ج- تفصيلة (أ)

تابع شكل (١٠-٣٢)

الغاية - عن طريق جالون أفقي في مستوى الكمره الخرسانية عند منسوب الوتر السفلي ويكون لهذا الجمل علق عند أعمدة الريح وبذلك يصمم هذا الجمل على مقاومة قوى الريح التي تنقلها تلك الأعمدة إليه . ثم تنتقل قوى الريح من الجمل إلى الكمرتين الخرسائيتين الممتدتين في الجانبين حيث تقاومها جميع الأعمدة الجانبية (شكل ١٠-٣٢) .



شكل (١٠-٣٣)



ي

تابع شكل (١٠-١٣)

ويُستند الجمل الأفقي في الاتجاه الرأسي عن طريق ركَب (Knee Brace) عند كل عمود ، أما في الجانبين فيستند بالكميرتين الجانبيتين حيث تمثل كل منها الركيزة الأفقية للجمل .

اختيار المقطع لأعضاء الأربطة

إذا لم تكن هناك قوى محددة محسوبة تقاومها أعضاء الأربطة فإن تلك الأعضاء تختار بحيث تتوافر فيها الشروط التالية :

أ - شرط العمق : العضو الذي يقع في مستو أفقي أو يميل قليلاً على الأفقي يجب ألا يقل عمقه عن $\frac{1}{4}$ من طوله الحر (أو مسقط ذلك الطول على المستوى الأفقي أي :

$$\frac{L}{d} \geq 40$$

ب - شرط الجساءة : يجب ألا تزيد نسبة النحافة عن القيم التالية :

$$\frac{L_0}{r} \geq 240$$

لأعضاء الضغط

$$\frac{L_0}{r} \geq 350$$

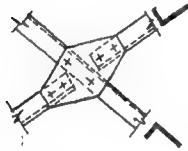
لأعضاء الشد

حيث L_0 هو طول التحنيط كما تحدده المواصفات .

المقاطع المستخدمة لأعضاء الأربطة

أوضحنا في البند السابق أن طول عضو الأربطة له تأثير على شكل المقطع المختار . ولما كان لكل عضو طولاً في مستوى الأربطة وطولاً في الاتجاه العمودي على ذلك المستوى ، لزم أن يناسب شكل المقطع كلا من هذين الطولين (على قدر الإمكان) . وبين شكل (١٠ - ٣٣) المقاطع التي تستخدم لأعضاء الأربطة :

١ - الزاوية المنفرجة - متساوية (أ) أو غير متساوية (ب) وتكون رجل الزاوية الطويلة في اتجاه الطول الحر الأكبر أي أن الرجل الصغيرة للزاوية تكون هي المربوطة حيث يكون لوح التجميع واقعاً في مستوى الأربطة . وبين شكل (١٠ - ٣٤) وصلة تقاطع



شكل (١٠ - ٣٤)

عضوي أربطة مقطعهما زاوية غير متساوية . ونجب ملاحظة أن هذه الوصلة غير مركزية مما يقتضي خفض الجهود المسموح عند حساب المقطع ليقاوم قوة محدة سواء أكانت قوة شد أم ضغط .

٢ - زاويتان متظاهرتان على جانب واحد من لوح التجميع ، متساويتان (ح) أو غير متساويتين (د) . ولا يستعمل هذا المقطع ذي الوصلة غير المركزية إلا إذا اقتضت الظروف ذلك لتحقيق الخلوص المطلوب .

٣ - زاويتان متظاهرتان متمركزتان متساويتان (هـ) أو غير متساويتين (و) وهذه تعطي عمقاً كبيراً ، كما أن هذا المقطع يناسب الأقطار المتقاطعة حيث يتبين طولاً التحنيط . وهنا يمكن الاستفادة الكاملة من مساحة المقطع .

٤ - زاويتان بشكل نجمة متساويتان (ز) أو غير متساويتين (ح) وهذا المقطع أكثر فائدة في حالة الأعضاء المنفردة ولا سيما قوائم نُظُم الأربطة .

٥ - مقطع مجرة منفرد (ط) ويمتاز بكبر عمقه فهو أصلح للأعضاء الأكبر طولاً ، ويمكن أن تربط شفته بلوح تجميع واحد أو تربط كل من شفتيه بلوح تجميع .

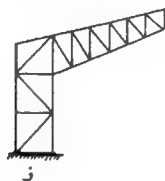
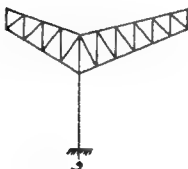
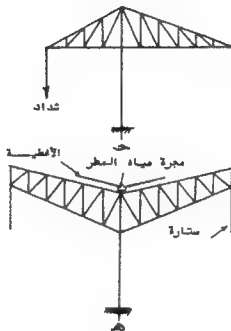
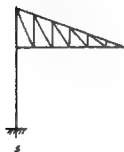
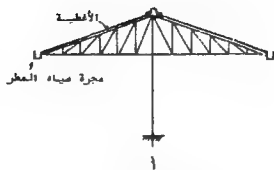
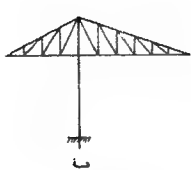
٦ - مقطعا مجرة متظاهران متباعدان (ي) حيث يمكن الحصول على العمق المناسب لطول العضو مع ازدياد الجسامة بدرجة كبيرة . ويُقسّم المقطعان عند اتصالهما بلوح التجميع المنفرد عند الكمرة الرئيسية أما عند تقاطع قطرين من هذا المقطع فيستخدم لوحاً تجميع لكي يظل المقطع بكامل عمقه .

أربطة المظلات :

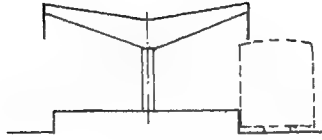
من أكثر المنشآت المعدنية استخداماً لغير الأغراض الصناعية المظلات ، ونقصد بها هنا المظلات الكابولية . ومن أشكال هذه المظلات المظلة ذات الكابولين المتساويين أو الكابولين غير المتساويين ومنها المظلة ذات كابول من جهة واحدة يحملها عمود منفرد أو عمود مركب (شكل ١٠ - ٣٥) .

وفي الحالات جميعاً تتعرض الأعمدة الحاملة للكابولات إلى عزوم حني . ويكون عزم الحني ضئيلاً في حالة الكابولين المتساويين ولكنه يزداد كلما صغر طول أحد الكابولين عن الآخر حتى يبلغ عزم الحني أقصاه للكابول المنفرد مما يقتضي في كثير من الأحيان جعل العمود مركباً (شكل ١٠-٣٥ ، ح)

وتقسم المظلات بحسب ميل سطحها إلى نوعين : المسنمة كما في الأشكال (١٠ - ٣٥ آ إلى د) والمقرعة كما في أشكال (١٠ - ٣٥ هـ إلى ح) وتمتاز الأخيرة بأن صرف مياه المطر فيها يكون داخلها عند الأعمدة . ولما كان حرفها الخارجي يرتفع عن وسطها فإنها أكثر صلاحية لأرصفة محطات سكة الحديد (شكل ١٠ - ٣٦) .



شكل (١٠ - ٢٥)



شكل (١٠ - ٣٦)

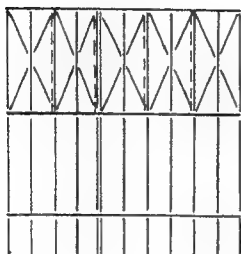
وإذا ارتفع الطرف أكثر من المناسب لأسباب معمارية فعندئذ يمكن تزويد ذلك الطرف بستارة من الألواح المعدنية أو من البلاستيك تمتد للارتفاع المناسب من سطح الرصيف أو من سطح الأرض لحماية المساحة المغطاة من الشمس أو المطر الذي تدفعه الرياح (شكل ١٠ - ٣٥ هـ) .

تربيط المظلات الكابولية

يتعرض الوتر العلوي بكامله لقوى شد بينما يتعرض الوتر السفلي لقوى ضغط ، ولما كان العمود الحامل للكابولي معرضاً لعزم حتي فإن أحد جانبي العمود المربع يتعرض لقوى ضغط أيضاً ، ويقتضي هذا سند أعضاء الضغط عمودياً على مستوى الإطار ، أناساً لتقليل طول التحنيب ، وأيضاً لمقاومة ما قد تتعرض له المظلة من قوى طولية لعل أقلها شأناً هو ضغط الرياح وأكثرها أهمية القوى الطولية الناشئة عن حركة مونوريل معلق في الكابول .

كما يلزم للمظلة سند الأعمدة في الاتجاه الطولي مع مراعاة أنه في المظلة ذات الدراعين لا يسمح عادة بعمل أربطة أسفل منسوب الوتر السفلي لاعتراضها مرور من جانب إلى آخر . أما الأعمدة المركبة فإن سندها يكون عادة متيسراً .

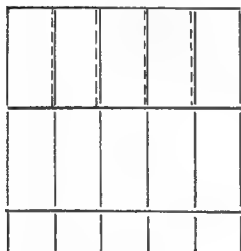
ويسند الكابول - أي شفة أو وتر الضغط في الكابول - بإحدى طريقتين :



مقطع الوتر العلوي



مقطع عرضي



مقطع الوتر السفلي

شكل (١٠-٣٧)

أولاً - نظام أربطة في مستوى الوتر العلوي :

في هذه الحالة يكون سند الوتر السفلي بواسطة أنظمة أربطة في المستويات الرأسية في المواضع التي يراد سند الوتر فيها . ولا يشترط في هذه الحالة أن تستمر هذه الأربطة في جميع الباكيات بل يكفي أن توضع في الباكيات التي بها الأربطة الأفقية حيث تعتبر أنظمة الأربطة الأفقية مرتكزات للأربطة الرأسية (شكل ١٠ - ٣٧) . وفي المظلة التي حرفها خط يكون هذا الحرف مسنوداً بالأربطة الأفقية . أما إذا كان للجمل عمق عند حرفة فإنه يجب تزويده بأربطة رأسية في ذلك المستوى شكل ١٠ - ٣٨ . فإذا كان بالحرف ستارة وجب أن تستمر الأربطة بكامل عمق الستارة (شكل ١٠ - ٣٩) .



شكل (١٠-٣٨) سند طرف المظلة



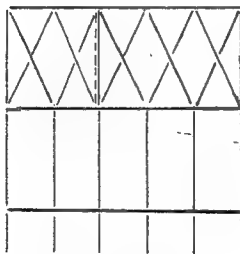
شكل (١٠-٣٩) سند الستارة

ثانياً - نظام أربطة في مستوى الوتر السفلي :

يعتبر سند وتر الضغط في هذه الحالة سندا مباشراً وترتبط كالمعتاد باكية كل عدة باكيات ويكون التبريط على هيئة أقطار فقط دون قوائم ، ولكن القوائم ضرورية فيما بين الباكيات المربطة (شكل ١٠ - ٤٠) .



مقطع الوتر السفلي



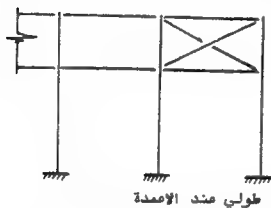
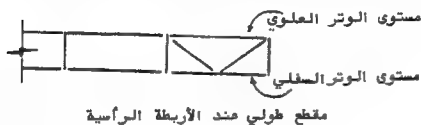
مقطع الوتر العلوي



مقطع عرضي

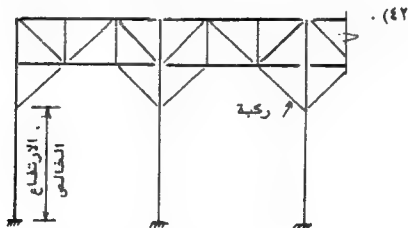
شكل (١٠-٤٠)

ولا زال من الضروري وضع نظام أربطة رأسي في مستوى الأعمدة بدءاً من الوتر العلوي . كما يمكن إضافة أربطة رأسية أخرى لسند الوتر العلوي إذا كان من اللازم تقليل نسبة نحافته (شكل ١٠-٤١) .



شكل (١٠-٤١) الأربطة الطولية

وغالباً ما يمكن سند عمود كبير الارتفاع عن طريق ركب (شكل ١٠-



شكل (١٠-٤٢) سند الأعمدة في الاتجاه الطولي

دراسة اقتصادية مقارنة لأنظمة الأربطة في الكابولات

إن كلتي طريقتي السند المذكورتين آنفاً تتضمن سند وتر الضغط عمودياً على مستوى الجبالون (أو الإطار) الرئيسي . وتجدر ملاحظة النقاط التالية :

١ - الأربطة في مستوى الوتر العلوي أقصر من تلك في مستوى الوتر السفلي وبالتالي يكون المقطع المطلوب للأخيرة أكبر كثيراً .

٢ - استخدام الأربطة في مستوى الوتر العلوي يستلزم استخدام أربطة رأسية لسند الوتر السفلي حيث يرد .

فيبقى حساب المادة اللازمة لكل من الطريقتين واختيار الأكثر اقتصاداً منهما .

٣ - إذا اكتفى بسند الوتر السفلي عند طرفه ونهايته فقط يصبح من الواضح أن اختيار الأربطة في مستوى الوتر العلوي أكثر اقتصاداً .

٤ - اختيار النقط التي يسند فيها الوتر السفلي ، أي تحديد أطوال التحنيط لأجزائه يتوقف على عاملين :

أ - ألا تتجاوز نسبة النحافة لأي جزء من الوتر بين نقطتي سنده الحد المسموح به أي :

$$\frac{l_{by}}{r_f} \geq 180$$

ب - أن يحقق اختيار المقطع المناسب للوتر اقتصاداً في وزن المنشأ بكامله أي حساب المادة اللازمة للوتر السفلي والأربطة .

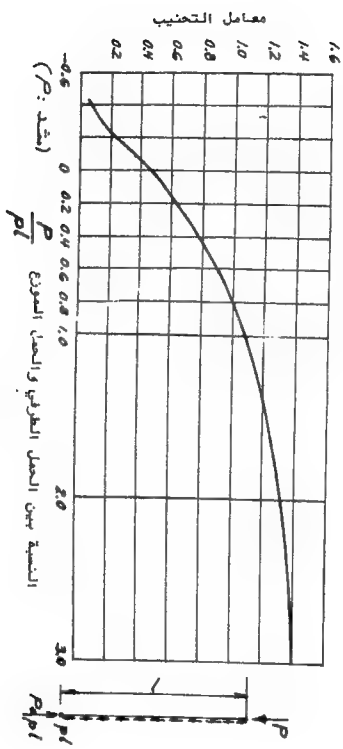
ولبحث موضوع سند الوتر السفلي نبدأ بدراسة طول التحنيط لعضو ضغط مفصلي الارتكاز عند كل من طرفه ونهايته والذي تتزايد القوة فيه على امتداد طوله بدءاً من الصفر عند طرفه حتى تبلغ أقصاها في نهايته ، كما قد يتعرض ذلك العضو لقوة محورية في طرفه .

ومن الواضح أن الحمل الحرج لعضو الضغط عندما يتعرض لقوة متزايدة يكون أكبر مما لو كانت القوة الكبرى فيه مستمرة بكامل طوله ، وهنا يمكن حساب طول تحنيط لمثل عضو الضغط هذا ليكافيء الزيادة في الحمل الحرج .

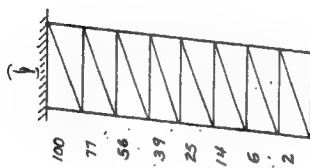
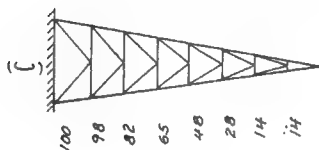
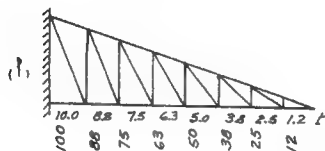
وبين شكل (١٠ - ٤٣) المنحني البياني لمعامل التحنيط لعضو ضغط مفصلي طوله (l) مسنود في طرفه ونهايته ، ومعرض لقوة محورية (P) عند طرفه ولقوة تتزايد من الصفر عند طرفه حتى تصل إلى أقصاها pl عند نهايته وبحيث مقطع العضو مستمر بكامل طوله .

ولتطبيق هذا المنحني على حالة وتر الضغط السفلي في الكابولي ندرس أشكالاً ثلاثة للكابولي مبينة في شكل (١٠ - ٤٤) وقد وضح على كل منها توزيع القوى النسبي في أعضاء الوتر السفلي حيث تتزايد القوى في أعضاء كل من الأوتار السفلية من طرفه حتى مرتكزه . وبين شكل (١٠ - ٤٤ د) خطوطاً بيانية لتوزيع تلك القوى ، حيث يتضح أن ذلك التوزيع بشكل يقرب من الخط المستقيم للكابولي مثلث الشكل وكذلك للكابولي المتوازي الوترين المحمل عند طرفه فقط ، وبشكل قطع مكافئ للكابولي المتوازي الوترين المحمل حملاً منتظماً . أي أنه يمكن القول بشيء من التجاوز أن القوى في أعضاء وتر الضغط تتزايد بانتظام من الصفر عند طرفه حتى قيمة قصوى عند مرتكزه ، ومن هنا يمكن استخدام المنحني بشكل (١٠ - ٤٣) في تعيين معامل التحنيط لوتر الضغط في الكابولي عمودياً على مستوى الجبالون ، ويطبق المعامل المأخوذ من ذلك المنحني على الطول الكلي لذلك الجزء من الوتر بين نقطتي السند ، وبحسب المقطع باعتباره حملاً بالقوة القصوى في نهايته .

ويلاحظ أن تأثير العضو بقوة ضغط محورية عند طرفه يزيد من معامل التحنيط زيادة مطردة مع ازدياد تلك القوة حتى يتجاوز الواحد مما يعني أن الحمل الحرج يتناقص . كما أنه إذا كانت القوة المحورية شداً نقص معامل التحنيط ، أي ازداد الحمل الحرج .

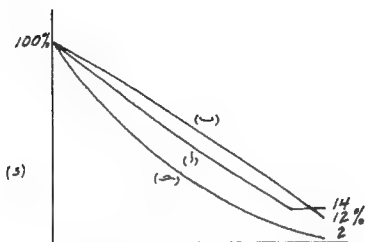


ولنأخذ مثلاً تطبيقاً الكابولي المثلث القائم في شكل (١٠ - ١٤٤)
 الذي طول وتره السفلي $8a$ حيث $a = 200 \text{ cm}$ والقوة في نهايته $S_1 = 10.0 \text{ t}$
 والقوة في العقلة الثالثة $S_3 = 7.5 \text{ t}$ وندرس الوتر عندما يسند من طرفه ونهايته
 ثم عندما يسند إضافياً بعد عقليتين من نهايته :
 أولاً - الوتر السفلي مسنود عند طرفه وعند نهايته



أشكال الكابولات
 ونسب القوى في أعضاء وتر الضغط :

شكل (١٠ - ٤٤) - القوى في وتر الضغط بالكابولات



١ - كابول بشكل مثلث متساوي الساقين

ب - كابول بشكل مثلث قائم الزاوية

ج - كابول متوازي الوترين

تابع شكل (١٠ - ٤٤)

بياني توزيع القوى في أعضاء وتر الخفض

معامل التحنيب (من الرسم البياني بشكل ١٠ - ٤٣) .

$$l_{by} = 0.46 \times 8 \times 200 = 736 \text{ cm} \quad \text{طول التحنيب}$$

$$S_1 = 10.0 \text{ t} \quad \text{القوة التصميمية}$$

$$2L^2 100 \times 10 (A = 38,4 \text{ cm}^2) \quad \text{المقطع المطلوب}$$

ثانياً: الوتر السفلي مسنود إضافياً بعد عقليتين من نهايته :

$$\frac{P}{pl} = 0 \quad \text{الجزء الطرفي المكون من عقليتين فيه}$$

معامل التحنيب $K = 0.46$

$$I_{by} = 0.46 \times 6 \times 200 = 552 \text{ cm}^4 \text{ طول التحنيب}$$

$$S_d = 7.5 \text{ القوة التصميمية}$$

$$2L^8 80 \times 8 (A = 24.6 \text{ cm}^2) \text{ المقطع المطلوب}$$

ب - الجزء المكوّن من عقليتين :

هنا سنعتبر القوة بالعقلة الثالثة قوة خارجية بالنسبة لذلك الجزء وبالتالي

تعدل القوة في كل من عقليتيه كما يلي :

$$\begin{array}{ccccccc} 10.0 & 10.0 & 8.8 & 7.5 & \rightleftharpoons & 10.0 & 2.5 & 1.3 & 7.5 \\ \hline \end{array}$$

شكل (١٠ - ٤٥)

$$\frac{P}{pI} = \frac{7.5}{2.5} = 3.0 \text{ حيث أن}$$

$$K = 1.39 \text{ معامل التحنيب}$$

$$I_{by} = 1.39 \times 2 \times 200 = 556 \text{ cm}^4 \text{ طول التحنيب المكافئ}$$

$$S = 2.5 \text{ القوة التصميمية}$$

$$2L^8 65 \times 7 \text{ المقطع المقاوم}$$

$$\frac{I_{by}}{r_y} = 190 > 180 \text{ ولكن}$$

$$2L^8 70 \times 7 (A = 18.8 \text{ cm}^2) \text{ المقطع المناسب}$$

فالجزء الطرفي للكابولي أكثر خرجاً . ولكي يستمر مقطع الوتر :

$$2L^8 80 \times 8 (A = 24.6 \text{ cm}^2) \text{ المقطع المختار}$$

ثالثاً - الوتر السفلي مسنود إضافياً بعد ٣ عقل من نهايته :

أ - الجزء الطرفي المكون من ٥ عقل :

المقطع المطلوب $2L^8 70 \times 7$

ب - الجزء المكوّن من ٣ عقل :

$$\begin{array}{ccccccccccc} 10.0 & 10.0 & 8.8 & 7.5 & 6.3 & & & & & & \\ \hline & & & & & & 10.0 & 3.7 & 2.5 & 1.2 & 6.3 \end{array} \equiv$$

شكل (١٠ - ٤٦)

$$\frac{P}{pl} = \frac{6,3}{3,7} = 1.7 \quad \text{حيث أن}$$

$$K = 1.25 \quad \text{معامل التحنيب}$$

$$l_{by} = 1.25 \times 3 \times 200 = 750 \text{ cm} \quad \text{طول التحنيب المكافئ}$$

$$S = 3.7 \text{ t} \quad \text{القوة التصميمية}$$

$$2L^8 80 \times 8 \quad \text{المقطع المقارن}$$

$$\frac{l_{by}}{r_y} = 208 > 180 \quad \text{ولكن}$$

$$2L^8 90 \times 9 (A = 31.0 \text{ cm}^2) \quad \text{المقطع المطلوب}$$

هذا المقطع يستمر بكامل طول الوتر .

وعلى ذلك يكون سند الوتر بعد عقلتين أنسب من سنده بعد ٣ عقل .
ولكن بمقارنة هذا بالوتر غير المسنود تكون الدراسة الاقتصادية هي المقارنة بين
المادة التي يتطلبها نظام الأربطة الرأسية بعد عقلتين والوتر السفلي
المكوّن من $2L^8 80 \times 8$ ، وبين ما يتطلبه الوتر المسنود في طرفه ونهايته والمكوّن

$$2L^2 100 \times 10$$

وتجدر ملاحظة أن طرف الوتر يكون مستوداً بأربطة الريح العلوية إذا لم يكن لذلك الطرف عمق (شكل ١٠ - ٤٤ ب) فإذا كان له عمق كما في شكل (١٠ - ٤٤ ح) ، وجب تزويد ذلك الطرف بأربطة رأسية .

ومن المفيد الإشارة هنا إلى المعادلة التي أوردناها مسبقاً والتي تعطي طول التحنيط لعضو ضغط مكون من طولين متساويين كل منهما l حيث تختلف القوة فيها $S_1 > S_2$ وتعوض كل قيمة بأشارتها:

$$l_{bv} = 2l \left(0.75 + 0.25 \frac{S_1}{S_2} \right) \leq l$$

وبمقارنة نتيجة استخدام هذه المعادلة بما نحصل عليه من المخطط البياني نجد أن طول التحنيط المحسوب منها أصغر ، بينما القوة المؤثرة أكبر . ورغم أنها لا تُدخل في الاعتبار القوة التي تؤثر على العضو من خارجه ، فإن المقطع المحسوب عن طريقها أكبر من المقطع المحسوب عن طريق المخطط البياني ، كما يتضح من المثال التالي:

$$\frac{10.0 \quad 2.5 \quad 1.3 \quad 7.5t}{\cdot} \quad \frac{10.0 \quad 8.8t}{\cdot}$$

شكل (١٠ - ٤٧)

$$l_{bv} = 556 \text{ cm}$$

$$l_{bv} = 388 \text{ cm}$$

$$S = 2.5t, P = 7.5t$$

$$S = 10.0t$$

$$2L^2 70 \times 7$$

$$2L^2 80 \times 8$$

السند بالركب (Knee Braces) :

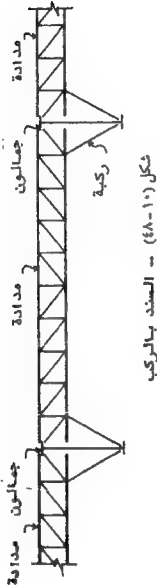
عندما يزداد التباعد بين الجها لونات

(لأكثر من ٦ أمتار مثلاً) فإنه يصبح من المناسب أن تعمل المدادات من نظام شبكي مكون من مقطع مبني ذي عمق كبير مقارنة بعمق الجها لون . وفي هذه الحالة يمكن تزويد مثل هذه المدادة بركبة

عند كل من نهايتها شكل (١٠ - ٤٨) ، وتعمل هذه الركبة على سند الوتر السفلي في الكابولي .

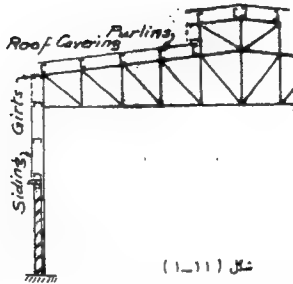
كما يمكن استخدام مثل هذه المدادة لسند الوتر السفلي للإطار المستمر الذي يتعرض جزء من وتره السفلي لقوة ضغط ، ولزيادة جساته .

ولا ننسى أن مثل هذه الركب تساهم في تقليل المقطع اللازم للمدادة .



الفصل الحادى عشر

المدادات



شكل (١-١١)

المدادات: حيثما تقع ، هي تلك الكمرات الممتدة بطول المبنى والتي تحمل الغلاف الخارجى للنشأ ، وهي متجان :

١- مدادات السطح (Roof Purlins) : وهي التي ترتكز على الجملونات أو الإطارات لتحمل أغطية السطح (Roof covering) .

٢- مدادات الجوانب (Girts) :

وقد تُحمل هذه على الأعمدة الفولاذية الحاملة للجملونات أو على جوانب المأور حيث تتركب عليها النوافذ الزجاجية (Sash) أو ألواح التغطية الجانبية من الأسبستس المصنوع أو الصاج المجلفن (Siding or Cladding) . كما قد تحمل حوائط من

الطلب وتاجة في نهايتي الجنى -

الأحمال على المعدات : تنقل المعدات إلى الكمرات الرئيسية
الأحمال الآتية :

أولا - أحمال على السطح :

١- حمل أغطية السطح .

٢- ما يفرض على السطح من أحمال حية إما فعلية تقتضيها طبيعة
المنشأ ، وإما متوقعة مثل وزن الجليد الذي يتساقط على السطح
في المناطق الباردة ، وهذا تحدده كل منطقة حسب طبيعتها ،
وإما احتياطية أو طارئة (Emergency load) وهذه
أيضا تحددها المواصفات ، وتتوقف على درجة ميل السطح وعلى
إمكان الوصول إليه كما في شكل (٢-٣٠) . ولا يجمع وزن
الجليد والحمل الطارئ ، وكلاهما يعتبر حملا موزعا على
السطح .

٣- ضغط الريح (الذي قد يكون ماصا) ويؤثر عموديا على السطح ،
ويتوقف على درجة ميل السطح واتجاهه بالنسبة للريح . هذا
وقد يكون ضغط الريح هو القوة الرئيسية للمعدات على
الجوانب .

٤- ما يركب على السطح من أجهزة ميكانيكية أو كهربائية مثل
شفاطات الهواء (Blowers) لتجديد الجو الداخلي للمبنى؛
والمدخن الفولاذية وبعض أنواع أجهزة تكييف الهواء .

ثانيا - أدوات معلقة من المعدات :

٥- واسير المياه أو البخار أو الغاز المستخدمة في الإنتاج ، وكذلك
الأنابيب والمجارى الحاملة للواد اللازمة للصنيع أو التي تمر
بها المنتجات المصنعة ، ومجارى تكييف الهواء .

٦- السقف الصغار (False ceiling) لتغطية أى عناصر

غير مرغوب في ظهورها ويتكون من ألواح، غالباً ما تكون مونتية مع مايتخللها من وحدات إضاءة وصغار الهواء المكيف، وتحتل كل هذه على قاطع فولاذية خاصة تعلق من المدادات . وكل هذه المدادات والأدوات تعلق أوزانها بالرسومات أو الحوائط الميكانيكية والكهربية .

انتقال الأحمال :

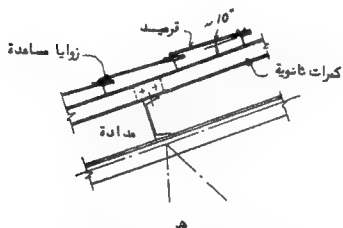
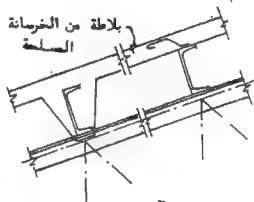
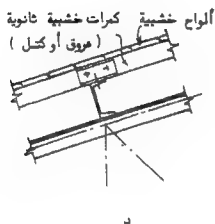
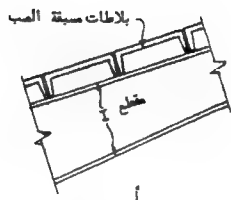
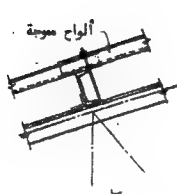
تنتقل أحمال السطح ، بما فيها الأظنية ، بإحدى الطريقتين الآتيتين (شكل ١١-٢) :

١- مباشرة إلى الكمرات الرئيسية ، ولا يكون هذا مقبولاً إلا إذا كان مقطع الكمرات على شكل I ، لأن التحميل المباشر على جمالون يتسبب في حدوث عزوم حثي ثانية فيما بين الفتحات ، ما يؤشر كحتماً في اختيار مقطع الوتر العلوي . وغالباً ما تستعمل لتغطية الكمرات البلاطات الخرسانية مسبقة الصب (أ) .

٢- عن طريق المدادات التي تحمل أو ترتكز عند العقد في الجمالونات وتنتقل الأحمال إلى المدادات :

أ- مباشرة وذلك عندما تكون الأظنية من الألواح الفولاذية أو ألواح الإترنيت أو من البلاطات الخرسانية (ب ، ج) .
ب- عن طريق مدادات ثانوية تسمى (Rafters) توضع عادة فوق المدادات موازية للجمالونات ، عند التغطية بألواح خشبية (د) .

ج- فإذا كانت الأظنية من ألواح أو بلاطات محدودة الطول والعرض كالقرميد والأردواز أضيفت كمرات مساعدة فوق الكمرات الثانوية وغالباً ما تكون زوايا صغيرة تسمى Batten Angles كما في شكل (١١-٢ هـ) .



شكل (٢-١١) - أنظمة السطح

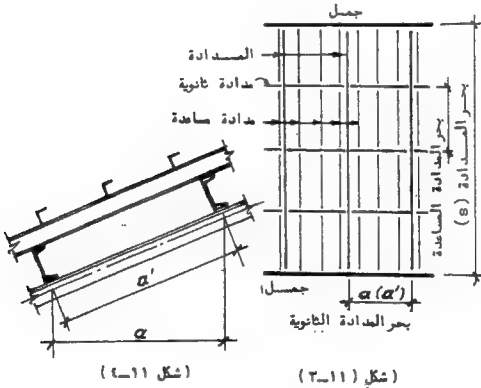
حساب المدادة :

أ - بحر المدادة (شكل ٣-١١)

١- المدادة الرئيسية : هو المسافة بين محوري الجملين أو الإطارين الحاملين بصرف النظر عن عرض أضواء الوتر العلوي للجبل أو الشفة العلوية للإطار . وسواءً أكانت المدادة مركزة على الجبل (شكل ٢-١١) أم موصولة به (شكل ٣-١١) أي أن بحر المدادة هو تقسيط الجملينات (S) .

٢- المدادة الثانوية : هو المسافة بين مدادتين رئيسيتين . ويلاحظ أن المحور الطولي للمدادة الثانوية يميل على الأنفسي بنفس ميل الوتر العلوي للجملين ، شكل (٤-١١) .

٣- المدادة الساعدة : وتحت فوق المدادات الثانوية موازية للمدادات الرئيسية وبحرها هو المسافة بين المدادات الثانوية .



ب - الأحمال :

أولاً - الحمل الميت ، ويشمل :

١- الوزن الذاتي للمادة ويمكن تقديره بافتراضه معق للمادة يتراوح بين $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{4}$ من بحرهما ، ويقدر بالكيلوجرام على المتر الطولي .

٢- أغطية السطح والسقف المستعار المعلق من الممدادات ، ويؤخذ في الاعتبار ميل السطح وجعل السقف عند حساب الأوزان ، وقد سبق بيان قيمة أوزان تلك الأغطية . كما تحسب أوزان أغطية الجوانب بالنسبة للمدادات الجانبية العاطلة لها سواء أكانت من الزجاج أو الإترنيت أو ألواح الفولاذ .

ثانياً - الأحمال الحية ، وتشمل :

١- الحمل الحي العوز بالتساوي على السطح سواء أكان فعلياً كوزن الجليد أو مفروضاً كما تقرره المواصفات والذي يؤخذ موزعاً بالنسبة للمسقط الأفقي للسطح .

٢- أوزان الأجهزة والأدوات والآلات التي قد تعلق من المدادات أو تحمل عليها .

٣- حمل مركز وحيد قدره ١٠٠ كج. والذي يمثل ما ملا مع أدواته ، حيث تتم المواصفات على وجوب مراجعة مقطع المدادة ليقاوم لذلك الحمل ، ولا يضاف إلى الحمل الحي المفروض ويكون هذا الحمل حرجياً عندما يكون الحمل الحي المفروض صغيراً .

ثالثاً - ضغط الريح :

ولا يكون هذا مؤثراً في اختيار قطع المدادة إلا إذا كان السطح كبير الميل ، أو كان السطح رأسياً وخاصة الجوانب المواجهة للريح . فيأخذ بمراجعة المعادلة التي تعطي معامل ضغط الريح هوديسا على السطح المواجه :

$$c = 1,2 \sin \alpha - 0,4$$

يُضح أنه .

- إذا كان ميل السطح أقل من $\frac{1}{2.7}$ (α نحو 19.5°) كان الريح ماصا .

- إذا زاد ميل السطح على $\frac{1}{2.7}$ كان الريح ضاخطا ، ويزداد الضغط بزيادة الميل حتى يبلغ أقصاه على السطح الرأسى، الذى معاملته $c = 0.8$.

- أما الأسطح المقابلة أيًا كان ميلها وكذلك الأسطح المتعامدة على اتجاه الريح فإن الريح عليها ماص ، ومعاملته $c = 0.4$. يراجع شكل (٣-٣١) . ويعتبر ضغط الريح هنا من المؤثرات الثانوية التى تستدعى زيادة الجهد المسموح به بمقدار 15% كما يلاحظ أن ضغط الريح بالنسبة للعدادات الجانبية وخاصة العواجبة للريح أكبر تأثيرا من الأحمال الميتة ، عندما تكون الجوانب مغطاة بالألواح ، خاصة المعدنية ، مما يؤثر فى اختيار مقطع المادة وفى طريقة وضعه .

حساب التأثيرات :

١- المادة على سطح منحدر (شكل ١١-٥) :

أ- أحمال الجاذبية أى الأحمال الرأسية ، وهى ليست فى اتجاه أيّ من محوري المقطع الرئيسيين وبذلك تحلل تلك الأحمال ، الموزنة منها والمركزة . فى اتجاهي هذين المحورين . فإذا كان الحمل المركز P kg وكان الحمل الموزع p kg/m² وكان ميل السطح α فإن :

مركبة الأحمال عموديا على المحور الأكبر $x-x$ للمقطع ، والتى تُحدث عزم حثي حوله :

$$P_x = P \cos \alpha \quad , \quad p_x = p \cos \alpha$$

والمركبة عموديا على المحور الأصغر $y-y$ ، والتى تُحدث عزم

حني حوله :

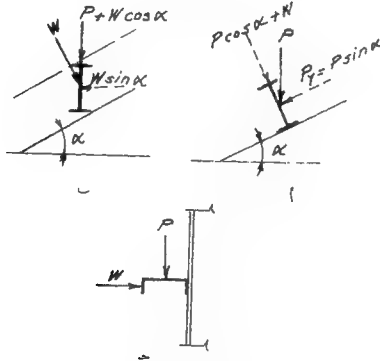
$$P_y = P \sin \alpha , p_y = p \sin \alpha$$

وتبين الأمثلة من ١ إلى ٥ مدى تأثير المقطع اللازم للمدادة بميل السطح الذي ترتكز عليه .

ب - ضغط الريح ويحسب عموديا على السطح فهو بذلك يحدث عزم حني حول المحور الأكبر فقط ، وغالبا ما يكون غير ذي تأثير ، إلا في مدادة الحرف .

٢ - مدادة السطح التي في وضع رأسي (شكل ١١ - ٥ ب) :

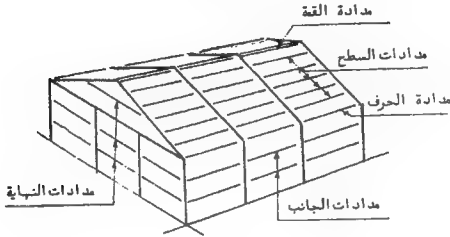
أ - أحمال الجاذبية وتحدث عزم حني حول المحور الأكبر للمقطع .
ب - ضغط الريح عموديا على السطح العائل فهو بذلك يحدث عزم حني حول كل من محوري المقطع .



شكل (١١ - ٥)

٣- مدادة الجانب ومدادة النهاية :

- أ - أحمال الجاذبية وتحدث عزم حني حول المحور الأفقي للمقطع .
- ب - ضغط الريح وهو هنا أفقي ويحدث عزم حني حول المحور الرأسى وكثيرا مايكون العامل المؤثر فى اختيار المقطع .
- وذلك تتعرض المدادة أينما كان موقعها لعزم حني مزدوج .



شكل (٦-١١)

المقاطع المستخدمة للمدادات :

يتوقف اختيار مقطع المدادة على العوامل الآتية :

- ١- موقع المدادة من المنشأ : على السطح أو الجانب أو النهاية .
- ٢- طبيعة الأحمال والقوى التي تتعرض لها المدادة .
- ٣- تنسيق الجمالونات ، أى بحر المدادة ، ويدخل فى الاعتبار هنا استخدام جمال ثانوية .
- ٤- النظام الاستاتيكي للمدادة .
- ٥- الناحية الاقتصادية ولها جانبان : وزن المادة المطلوبة للمدادة وكمية العمل المطلوبة لتشغيلها وتركيبها أو المقاطع المدلفنة (الجاهزة) / المقاطع المبنية .

٦- طريقة ربط المعدادة بالجميل .

٧- المعدادة الساندة لشفة الضغط في الكوة الرئيسية .

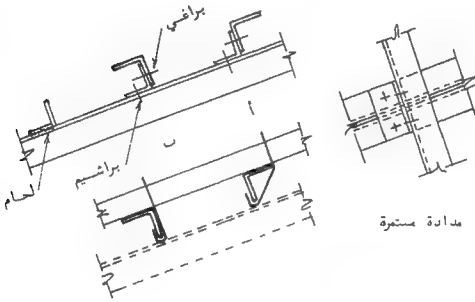
أولا - معدادة السطح :

١- المقاطع المدفنة :

أ- الزاوية المنفردة (شكل ١١-٧) ، وغالبا ما تكون زاوية

متساوية وخاصة للمعدادة على السطح المنحدر . ولا تكون الزاوية

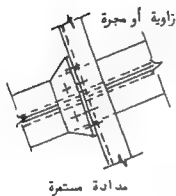
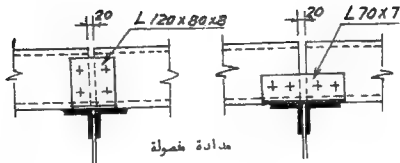
اقتصادية إلا للبحور الصغيرة (نحو ٣٠٠ أمتار) .



شكل (١١-٧)

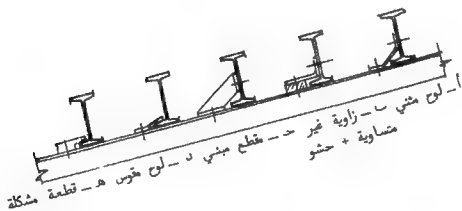
والزاوية في الوضع (أ) أقدر على مقاومة الأحمال منها في الوضع (ب) وقد تكون أكثر اقتصادا ، إلا أن المسار السنارة اللازم لربط الألواح بها أكثر تعقيدا .

ب- المجرة ، وهذا المقطع أكثر شيوعا وذلك لسهولة تركيبها وربطها على سطح الجعالون ، (شكل ١١-٨) .

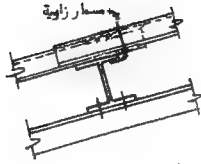


شكل (٩-١١)

جـ - المقطع I العادي ، وربطها بسطح الجبل أكثر صعوبة بسبب ضيق شفته ، (شكل ٩-١١) .



شكل (٩-١١) - وصلة العدادة ذات المقطع I



(شكل ١١-١٠)

صلة المادة

I عريضة الشفة

د- المقطع I عريض الشفة

يندر استعمال هذا المقطع للمعدات رغم أنه يكون اقتصاديا على السطح المنحدر كما قد يكون تركيبه أوفر لعدم الحاجة إلى القواب ، ولا تصاع شفته لمسار الرباط إلا أنه قد لا يحقق شرط العمق :

٢- المقاطع العنينة (Built Sections) :

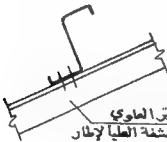
يغلب استعمال المقطع العنينة للفتحات الكبيرة وخاصة حين تكون المادة في وضع رأسي (شكل ١١-١١) وتتبع المقاطع العنينة بالعزات التالية :

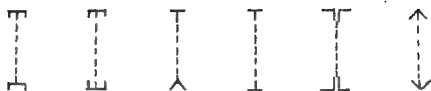
- الوفري المادة المستعملة وخاصة مع استعمال اللحام .
- اختيار العمق الذي يتناسب مع بحر المادة ، وخاصة إذا كانت الأحمال ضئيلة .

ويعمل وتر المادة من زاوية مفردة أو زاويتين متظاهرتين أو مقطع T أو مقطع مجرة نائفة (شكل ١١-١١ أ) . ويعمل القطر إما من زاوية مفردة وإما من سيخ مبروم مستر الانثناءات (شكل ١١-١١ ب)

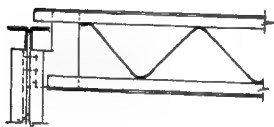
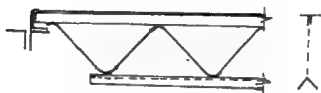
٣- المقاطع المشكلة على البارد (Cold-formed Sections) :

لعل أكثر المقاطع المشكلة على البارد استعمالا هو المقطع Z البدي يفصل المجرة في مقاومته للالتواء حيث أن مركز القص فيه يقع في منتصف الجذع .





أ - المقاطع المعينة



ج - صغار السنارة
وتركيب الألواح

ب - تركيب العدادة المعينة على الحمل

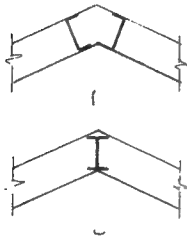
شكل (١١-١) - العدادة المعينة

ثانيا - مدادة القمة :

تأخذ هذه المدادة أحد شكلين :

أ - مجرة مزدوجة ، واحدة على كل جانب من رأس الجمالون . كما يمكن أن تكون زوجا من أحدهم القاطع السابقة المدافنسة ، (شكل ١١٢-أ) .

ب - مقطع I ، على الأخص عرض الشفة ، الذي لا يحتاج إلى سند جانبي . كما يمكن أن يكون مقطع I مبنيا ، (شكل ١١٢-ب) .



شكل (١١٢-١)
مدادة القمة



شكل (١١٢-٢)
مدادة الحائط

ثالثا - المدادة في المستوى الرأسي :

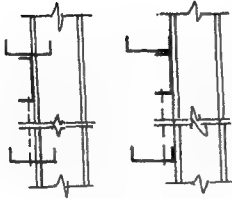
يتوقف شكل المدادة على نوع التفطية :

١ - التفطية بالطوب أو البلوكات حيث الحمل الرأس هو الأساسي بالنسبة لضغط الريح ، يستعمل المقطع I ، إما عرض الشفة وإما عرض الحائط .

٢ - التفطية بالألواح ، حيث ضغط الريح أساسي بالنسبة للحمل الرأس فيستعمل :

أ - المقطع المجرة الذي محوره الأكبر رأسي . ولما كان عرض الشفة لا يحقق شرط العنق كان من اللازم تعليق المدادة من منتصفها أو من نقطتي الطث ، ولهذا الغرض يستعمل :

ب - مقطع مجرة مركب
لتعلق به الدادة النائية
- واحدة أو أكثر - حيث
أن هذا المقطع قادر
على مقاومة قوى فسي
اتجاهين (شكل ١١-١٤).
ويستعمل هذا المقطع
لدادة الحرف في
المستوى الرأسى ،
(شكل ١١-١٥) ، كما
يستعمل للدادة التي



شكل (١١-١٤)

الدادات في المستوى الرأسى

تتعرض لقوى أفقية ذات شأن إضافة إلى الأحمال الرأسية .

النظام الاستاتيكي للدادة

١ - الدادة على ركيزتين : أكثرها
استخداما ، فهي من الوجهة العملية
قد تكون أسهل في النقل وفي المناولة
أثناء الرفع والتركيب ، ومن الوجهة
الاقتصادية قد يكون سعر الكمثرات
القصيرة أقل من سعر الطويلة .



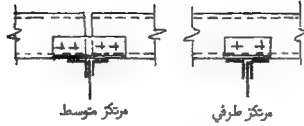
شكل (١١-١٥)

دادة الحرف

٢ - الدادة المستمرة : الدادة

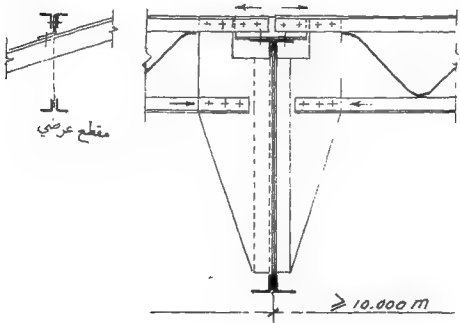
المستمرة اقتصادية عالم تكن على فئحتين :

أ - لأن المقاطع الجاهزة لجعل الكرة مستمرة أمر مكلف مادى
وتشفيرا إذ الغرض أن يتم ذلك فى مستوى سطح الجمالونات ، ولايسمح
الطول الذى تورده المقاطع المدلفنة باستمرارها لأكثر من فئحتين ،
وقد تستثنى من ذلك الزاوية المنفردة لقصر البحر الذى تركب عليه .
وربط الدادة المستمرة عند مركزاتها المتوسطة أو فر (شكل ١١-١٦)



شكل (١٦-١١)

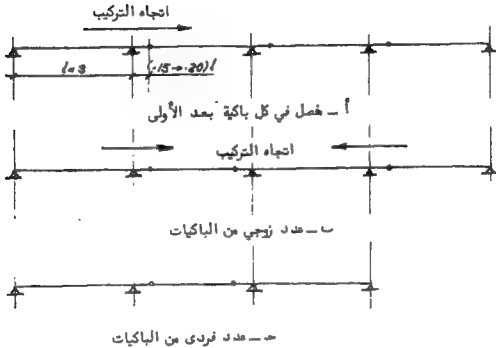
ب- أما المقاطع المبنية فيمكن جعلها مستمرة عن طريق وسائل اتصالها بالجمالون • فيستخدم للوتر العلوي بدلا من القبقاب لوح مثني على شكل زاوية يعدد ليستوعب العدد المطلوب من مسامير الأمانة (مسامير قلاووظ) أما الوتر السفلي للمدادة فتوضع مساميره في لوح التجميع الذي تتركب به المدادة في الجمالون (شكل ١٧-١١) •



شكل (١٧-١١)

استمرارية المدادة

٣- المدادة بهيئة كمره مفصلية ، شكل (١٨-١١)



شكل (١٨-١١) - المدادة المفصلية

لهذا النظام ميزة الوفر التي للكمرات المستمرة ، إلا أنها تعُفَلها

فيما يلي :

أ - يمكن أن تكون أطوالها مستمرة في الباكيات المتوسطة (عدا الأولى).

ب - تتفادى الجهود الإضافية التي تحدث نتيجة هبوط مرتكزاتها على

الجمالونات .

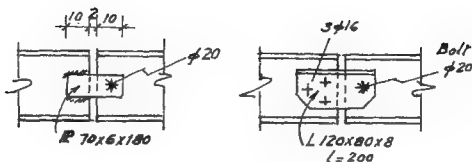
ج - وصلات الفاصل أبسط كثيرا من لأمات الكمرات المستمرة .

إلا أنه لا زال استعمال هذا النظام يقتضي مادة للفواصل وزيادة نسبي

التشغيل . والترتيب الغفل هو الموضح بشكل (١٨-١١) لتساوي

الأطوال وتشابه الوصلات ، ومناسبتة لاتجاه التركيب . ويوضح شكل

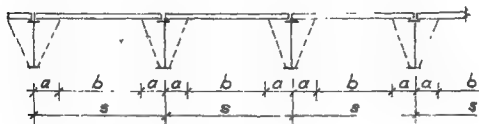
(١٩-١١) طريقة عمل الغفل في المدادة .



شكل (١٩-١١)

والطول النظري لبعد الغسل عن المركز للأحمال المنتظمة الميتة هو 1.145 ، حيث يتقارب العزمان الموجب والسالب في الفتحات المتوسطة . إلا أنه بسبب اختلاف حالات التحميل يؤخذ هذا البعد بين 1.15 و 1.21 وعندئذ يصبح عزم الحني الموجب $0.042wl^2$ وعزم الحني السالب $0.083wl^2$ هذا ويمكن للحفاظ على مقياس المادة تصغير الباكية الأولى لإنقاص عزم الحني الموجب بها .

٤- المادة ذات الركبتين : تزود الركبة* المادة بركيزة متوسطة



* يراعى سند الوتر السفلي للجميل الطرزي من الخارج
لمقاومة ضغط الركبة من الفتحة الأولى .

شكل (٢٠-١١)

مرة وبذلك تصبح العدادة فيما بين خطين مستمرة على أربع ركائز،
الوسطيتان منها مرتتان، ويقلل ذلك من عزم الحني على العدادة بدرجة
واضحة . ويبين الجدول (١-١١) معاملات عزوم الحني لعدادات
مزودة كل منها بركبتين لأبعاد مختلفة للركبتين : $M = +C_1 p l^2$.

جدول (١-١١) - معاملات عزوم الحني للعدادة ذات الركبتين

$\frac{b}{a}$	$\frac{l}{a}$	معامل عزم الحني C_1 (قيمة مطلقة)		
		الفتحة الأولى	الفتحة الثانية	الفتحة الثالثة
6	8	.0679	.0711	.0447
4	6	.0642	.0629	.0347
2	4	.0569	.0511	.0203

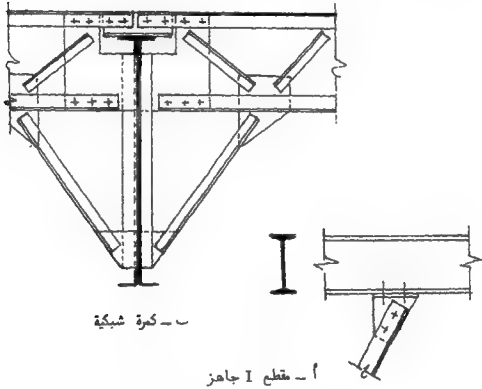
يبين الجدول (٢-١١) معاملات قوة الضغط في الركبة $C_2 \frac{p l^2}{a}$
ومعاملات رد الفعل عند مركز العدادة على الجمل : $C_3 \frac{p l^2}{a}$

جدول (٢-١١)

$\frac{b}{a}$	$\frac{l}{a}$	معامل الضغط في الركبة C_2		معامل رد الفعل على الجمل C_3	
		الفتحة الأولى	الفتحة الثانية	الفتحة الأولى	الفتحة الثانية
6	8	.132	.085	-.116	-.075
4	5	.142	.086	-.084	-.044
2	4	.165	.086	-.018	+.017

ملحوظة : اشارة (-) معناها قوة نازعة .

والمعتاد أن تكون الدعامة ذات الركبة من النظام الشبكي كما يجب أن تكون الدعامة رأسية وتكون الركبة عضوا فيها ، شكل (١١-٢١) وهنا تكون الركبة سائدة للوتر السفلي للجسمالون أو الإطار ، وهذا أساسي خاصة حين يكون الوتر السفلي مغرضاً لضغط . وقد يمتد لوح التجميع الذي يربط الدعامة بالجمل ليصبح جناحا سائدا للوتر السفلي (راجع شكل ١١-١٧) .



شكل (١١-٢١) - الدعامة ذات الركبة

وهذه أمثلة لدراسة اختيار مقطع الدعامة :

مثال (١١-١) - المطلوب اختيار مقطع لدعامة متوسطة ترتكز على

سطح يحل على الأفقى ١:٥ .

المعطيات : تقسيط الجسمالونات $s = 6.00 \text{ m}$

$$a = 1.65 \text{ m}$$

$$15 \text{ kg/m}^2$$

$$80 \text{ kg/m}^2$$

مسافة العقلة

وزن الأظية

الحمل الحي الغروض

$$\tan \alpha = 0.2, \sin \alpha = .196, \cos \alpha = .98$$

$$\frac{15 \times 1.65}{.98} = 25 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الأحمال: الأظية}$$

$$20 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الوزن الذاتي}$$

$$80 \times 1.65 = 132 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الحي}$$

$$\text{-----}$$

$$177 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الكلي}$$

$$P_x = 177 \times .98 = 173 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل في اتجاه الجذع}$$

$$P_y = 177 \times .196 = 35 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل عموديا على الجذع}$$

$$M_x = \frac{173 \times 6.0^2}{8} = 781 \text{ kgm}$$

$$M_y = \frac{35 \times 6.0^2}{8} = 156 \text{ kgm}$$

$$Z_{x \text{ req}} = \frac{(781 + 7 \times 156) 100}{1400} = 134 \text{ cm}^3$$

$$\text{Try } [180; Z_x = 150 \text{ cm}^3, Z_y = 22.4 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{act}} = \frac{78100}{150} + \frac{15600}{22.4} = 521 + 696$$

$$= 1217 \text{ kg/cm}^2$$

$$< 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$\text{Try S.I.B. } 180: Z_x = 161 \text{ cm}^3, Z_y = 19.8 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{act}} = \frac{78100}{161} + \frac{15600}{19.8} = 485 + 788$$

$$= 1273 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (٢-١١) - في المثال (١-١١) ماذا يكون مقطع المادة

عندما يكون ميل السطح ١:٣ ($\alpha = 18.4^\circ$)

$$\tan \alpha = .333, \sin \alpha = .316, \cos \alpha = .949$$

$$\frac{15 \times 1.65}{.949} = 26 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الأحمال : الأغطية}$$

$$25 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الوزن الذاتي}$$

$$132 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الحي}$$

$$183 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الكلي}$$

$$p_x = 183 \times .949 = 174 \text{ kg/m}^1$$

$$p_y = 183 \times .316 = 58 \text{ kg/m}^1$$

$$M_x = 782 \text{ kgm}$$

$$M_y = 260 \text{ kgm}$$

$$Z_{x \text{ req}} = \frac{(782 + 7 \times 260) 100}{1400} = 186 \text{ cm}^3$$

$$T_{ry} [200 : Z_x = ; 191 \text{ cm}^3, Z_y = 27 \text{ cm}^3]$$

$$f_{act} = \frac{78200}{191} + \frac{26000}{27} = 409 + 963$$

$$= 1372 \text{ kg/m}^2$$

$$T_{ry} \text{ S.I.B. } 200, Z_x = 214 \text{ cm}^3, Z_y = 26 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = \frac{78200}{214} + \frac{26000}{26} = 365 + 1000$$

$$= 1365 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (١١-٢) - في المثال (١١-١) ماذا يكون مقطع المدادة

عندما يكون ميل السطح ١:٢ ($\alpha = 26.56^\circ$) ؟

$$\tan \alpha = .0500, \sin \alpha = .447, \cos \alpha = .894$$

$$\frac{15 \times 1.65}{.894} = 28 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الأحمال : الأغطية}$$

$$30 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الذاتي}$$

$$132 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الحي}$$

$$190 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل الكلي}$$

$$p_x = 190 \times .894 = 170 \text{ kg/m}^1$$

$$p_y = 190 \times .447 = 85 \text{ kg/m}^1$$

$$M_x = 764 \text{ kgm}$$

$$M_y = 382 \text{ kgm}$$

$$Z_{x\text{req}} = \frac{(746+7 \times 382)}{1400} = 246 \text{ cm}^3$$

$$\text{Try [220 : } Z_x = 245 \text{ cm}^3, Z_y = 33.6 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{act}} = \frac{76400}{245} + \frac{38200}{33.6} = 312 + 1137$$

$$= 1449 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Try S.I.B. 220: } Z_x = 278 \text{ cm}^3, Z_y = 33.6 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{act}} = \frac{76400}{278} + \frac{38200}{33.1} = 275 + 1154$$

$$= 1429 \text{ kg/cm}^2$$

• كلا الجهدين الفعليين أعلا من المسموح به : ٢٠٪ و ٢٠٪)

مثال (١١-٤) : في المثال (١١-٣) ما مقياس المقطع I عرض الشفة

اللازم للمدادة ؟

$$Z_{x\text{req}} = \frac{(764+3 \times 382)100}{1400} = 136 \text{ cm}^3$$

$$\text{Try B.F.I 120: } Z_x = 144 \text{ cm}^3, Z_y = 52.9 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{act}} = \frac{76400}{144} + \frac{38200}{52.9} = 531 + 722$$

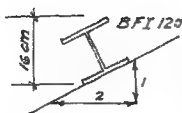
$$= 1258 \text{ kg/cm}^2$$

ملحوظة : لا يعتبر عقق هذا المقطع غير ملائم لأنه أقل من $\frac{1}{40}$ إذ أن العمق الحقيقي هو الموضح بشكل (١١-٢٢) والذي يبلغ ١.٦ cm .

يلخص الجدول (١١-٣) الأمثلة من ١ الى ٤ حيث يتبين منه :

١- يزداد المقطع المطلوب كلما ازداد ميل السطح .

٢- المقطع I العادى والمقطع المجرة المرتكزان على نفس الميل



شكل (١١-٢٢)

يتقاربان في الوزن *

٣- مع الاحتفاظ بعمل السطح فإن المقطع I مريض الشقة أكثر المقاطع اقتصاداً ، لكن يحد من اختياره أن احتمال عدم تواجده في فوق

كبير *

٤- بصرف النظر عن أن المقطع I العادي أصعب في التركيب من المقطع المجرة فإنه يلاحظ :

أ - بالنسبة للمحور الرئيسي الأكبر : المقطع I العادي أقوى من المقطع المجرة *

ب - بالنسبة للمحور الرئيسي الأصغر : المقطع المجرة أقوى من المقطع I العادي *

ج - شقة الضغط في كلا المقطعين غير قادرة على مقاومة التحنيب الجانبي *

جدول (١١-٣) - تأثير ميل السطح على المقطع اللازم للمدادة

ميل السطح	القطع المطلوب		المسود (kg/cm ²) الناتجة من				انحدور الكمية		الوزن ' kg/m ²	
			H _y		H _x					
			I	[I	[
1:5	180	180	521	485	696	788	1217	1273	22.0	21.9
1:3	200	200	409	365	963	1000	1372	1365	25.3	26.3
1:2	220	220	312	275	1137	1154	1449	1429	29.4	31.1
	B.F.I. 120		531		722		1253		26.9	

مثال (١١-٥) - في المثال (١١-٣) ما تأثير ميل شدة

١٠٠ كج/م² على السطح الرأسي ، على مقطع المدادة ؟

أولاً - الريح الفعال على السطح العواجه :

$$c = (1.2 \times .447 - 0.4) = .136$$

$$w = .136 \times 100 \times \frac{1.65}{.894} = 25 \text{ kg/m' (في اتجاه الجذع)}$$

$$p_x = 170 + 25 = 195 \text{ kg/m'}$$

$$M_x = \frac{195 \times 6.0^2}{8} = 878 \text{ kgm}$$

$$M_y = (\text{كما سبق}) = 382 \text{ kgm}$$

$$Z_{x \text{ req}} = \frac{(878 + 7 \times 382) 100}{1400 \times 1.15} = 221 \text{ cm}^3$$

For [220 :

$$\begin{aligned} f_{\text{act}} &= \frac{87800}{245} + \frac{38200}{33.6} = 358 + 1137 \\ &= 1495 \text{ kg/cm}^2 \\ &< 1610 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK.} \end{aligned}$$

ثانياً - الربيع الماص على السطح المقابل :

$$c = -0.4$$

$$w = 0.4 \times 100 \times \frac{1.65}{.894} = 74 \text{ kg/m'}$$

أدنى حمل في اتجاه الجذع (الأغطية والوزن الذاتي)

$$(28 + 29.4) \times .894 = 52 \text{ kg/m'}$$

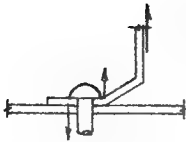
$$p^- = 74 - 52 = 22 \text{ kg/m'} \quad \text{القوة العاكسة}$$

القوة العاكسة عند مركز العدادتين على الجملون :

$$p^- = 22 \times 6.0 = 132 \text{ kg}$$

يقاوم هذه القوة النازعة البراغي الأربعة التي تربط العدادتين بالقباب في قعر هرد ، كما يقاومها البرشامان اللذان يربطان القيقاب بالوتر العلوي واللذان يتعرضان لشد . ويلاحظ أن رجل القيقاب على الجمل معرضة لعزم حني (شكل ١١-٢٣) .

الشدادات



من الأمثلة ١٤٤ لتصميم الدادة المرتكزة
على سطح مائل من مقطع مجرة أو مقطع
I عادى يتبين أن الجهود الناشئة عن
 M_y :

- ١- أكبر من تلك الناشئة من M_x
- ٢- ترددات كلما ازداد ميل السطح

شكل (١١-٢٣)

كما يلاحظ أنه لصغر عزم عطالة المقطع حول المحاور $y-y$ فإن
سهم الانحناء في اتجاه ميل السطح ، ويكون ذلك مصحوبا بالحركة
الجانبية لشدة الضغط قليلة العرض ، بسبب التحنيب الجانبي .
فليكني يكون مقطع الدادة اقتصاديا - بعد أن حُدّد عظم
الجماليات - يجب تقليل الجهود الناشئة عن p_y ويكون ذلك بأحد
طريقتين :

- أ - تقليل ميل سطح الجمالون؛ ولو أن تأثيره غير كبير ، كما يتضح من
الجدول (١١-٤٠) .

جدول (١١-٤٠)

ميل السطح	عزم الحني M_y kg m	نسبة النقص في العزم
1:2	382	-
1:3	260	32%
1:5	156	59%

ب - تقليل فتحة الدادة بالنسبة إلى الاتجاه الضعيف للمقطع $y-y$

ويكون ذلك بسندها جانبيا فيما بين الجبلين ، وذلك يجعلها مستمرة في ذلك الاتجاه • وبذلك تقل عزوم الحتمي ويقل سهم الانحناء كما في الجدول (١١-٥) •

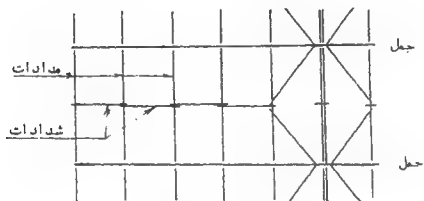
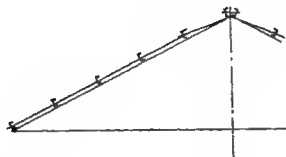
جدول (١١-٥)

حالة المدادة	الفتحة	عزم الحتمي M_y	التغير في عزم الحتمي	التغير في السهم
غير مسنودة	1	$p \frac{l^2}{8}$	-	-
مسنودة في المنتصف	$\frac{1}{2}$	$\pm p \frac{l^2}{40}$	1:5	1:16
مسنودة في نقطتي الثلث	$\frac{1}{3}$	$\pm p \frac{l^2}{90}$	1:11.1	1:81

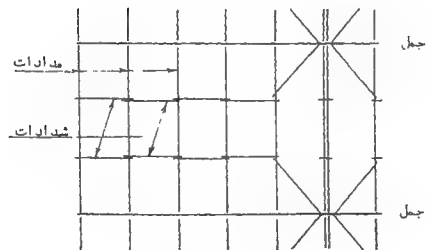
وتستعمل لهذا الغرض شدادات (Tie rods or Sag rods) تُعمل من أسياخ مبرومة مقلوطة الطرفين، تربط في خط بين كل مدادتين • ويتقرب جذع المدادة فيما بين منتصفه وبين نقطة الثلث العليا • وفي الفتحات التي لا تُجاوز أربعة أمتار يستعمل شداد واحد (شكل ١١-٢٤ أ) وفي الفتحات الأكبر يستعمل شدادان (شكل ١١-٢٤ ب) •

وتتقل المرئيات p_y من الشداد الأدنى إلى الشداد الأعلى، وهناك يجب إجمال القوى المجمعة إلى الجمل ، وذلك بإحدى طريقتين :

- ١- إجمالة الشدادين الأخيرين حيث ينقلان تلك القوة إلى الوتر العلوي للجمل • وهذه أكثر شيوعا ، إلا أنها تكون ضرورية في الحالات الميئة بشكل (١١-٢٥) :
- أ- إذا كانت قوة الجمل غير متطابقة •

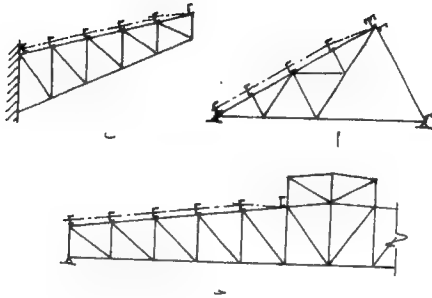


أ - سند في المنتصف



ب - سند في نقطتي الطث

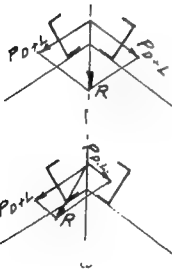
شكل (٢٤-١١) - سند المدادة على منحدر بالشدادات
(السطح غرود في المسقط الأفقي)



شكل (٢٥-١١)

ب- إذا كان طرف الجمالين معتدا إلى الأيسر .

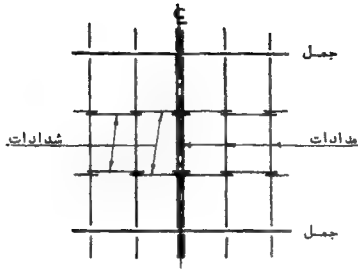
ج- إذا كان الجمل مزودا بشخشيخة .



شكل (٢٦-١١)

أما المدادتان عند القمة فتربطان معا حيث تتعادل المركبتان اللتان في اتجاه ميل السطح وتكون محصلتهما رأسية (شكل (٢٦-١١)) ما لم تكن الأحمال على جانبي الجمل غير متماثلة (شكل (٢٦-١١) ب) .

د- بجمل الشدادات مستمرة حتى المدادة (أو المدادتين) عند القمة وذلك تتحمل كل المركبات p_y هناك وتؤثر محصلتها عند قمة الجمل (شكل (٢٧-١١)) .



شكل (٢٧-١١)

ولبيان تأثير الشدايات على المداية نعيد حساب المثال (٣-١١) .

مثال (٦-١١) - في المثال (٣-١١) ماذا يكون مقطع المداية إذا سدت :

أ - في منتصفها ، ب - في نقطتي الثلث ؟

$$p = 190 \text{ kg/m}^1 \quad \text{مجموع الأحمال}$$

$$p_x = 170 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل في اتجاه الجذع}$$

$$p_y = 85 \text{ kg/m}^1 \quad \text{الحمل عمودياً على الجذع}$$

$$M_x = \frac{170 \times 6.0^2}{8} = 765 \text{ kgm} \quad \text{أ -}$$

$$M_y = \frac{85 \times \left(\frac{6.0}{2}\right)^2}{10} = 76.5 \text{ kg m}$$

$$Z_{req.} = \frac{(765 + 6 \times 76.5) 100}{1400} = 87 \text{ cm}^3$$

$$\text{Try } [140; Z_x = 86.4 \text{ cm}^3, Z_y = 14.8 \text{ cm}^3]$$

$$f_{act} = \frac{76500}{86.4} + \frac{7650}{14.8} = 885 + 528$$

$$= 1418 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sim 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_x = 765 \text{ kg m} \quad - \text{ب}$$

$$M_y = \frac{85\left(\frac{6.0}{3}\right)^2}{10} = 34 \text{ kg m}$$

$$Z_{req.} = \frac{(765+6 \times 34)100}{1400} = 69 \text{ cm}^3$$

For [140 :

$$f_{act} = \frac{76500}{86.4} + \frac{3400}{14.8} = 885 + 230$$

$$= 1115 \text{ kg/cm}^2$$

بمقارنة نتائج المثال (٣-١١) مع نتائج المثال (٦-١١) نجد أن نسبة الجهد بين f_y : f_x قد انعكست ، إذ انخفض الجهد f_y إلى أقل من النصف عند سند المدادة في منتصفها وإلى أقل من الخمس عند سندها في نقطتي الثلث ، هذا رغبا من الصِّمِّر المحفوظ في المقطع والذي أدى إلى زيادة الجهد f_x ٣٥ مرات .

جدول (٦-١١) تأثير الشداد على الجهود الفعلية

المقطع	f_{act}	f_y	f_x	حالة المدادة
	kg/cm ²			
[200	1449	1137	312	غير مسنودة
[140*	1413	528	885	مسنودة في المنتصف
[140**	1115	230	885	مسنودة في نقطتي الثلث

وبين الجدول (٧-١١) كيف أن سند المدادة في منتصفها أنقص M_y بنسبة 80% وأنقص معايير المقطع المطلوب بنسبة 65% وأنقص المقطع المطلوب بنسبة 46%. والنقص أكبر من هذا عند سند المدادة في نقطتي الثلث ولولا القيود على العمق الأدنى لكان الوفير في المقطع ملحوظا .

جدول (٧-١١)

حالة المدادة	M_x kg m	نسبة النقص	Z_{req} (cm ³)	نسبة النقص	القطع المنتشر		نسبة الوفير
					المقاس الوزن	المقاس الوزن	
غير مستوية	382.0	-	246	-	[220]	29.4	-
مستوية في النصف	76.5	80%	87	65%	[140]*	16.0	46%**
مستوية في نظفي الثلث	34.0	91%	69	72%	[140]**	(16.0)	(46%)

* أورد هذا المقاس للمقارنة ، فقد يكون غير مستوف لشرط العمق
 ** قد يكون هذا المقطع غير ملائم للمقارنة ، حيث الجهود فيه تقل عنها في المقطع غير المستوي بنسبة 21% .
 *** لا يمثل هذا الرقم الوفير الفعلي في المدادة ، إذ أن بعض الوفير يستغنى في شح الشدادات وتكلفة تشغيلها وتركيبها .
 ففي المثال الفرق في وزن المدادة :

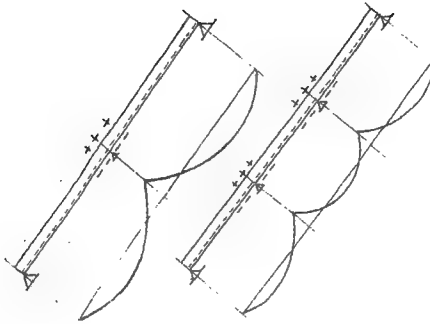
$$W = (29.4 - 16.0) \times 6 = 80 \text{ kg}$$

وزن الشدادات قطر ١٦ مم (مضاعفا لتغطية التكلفة)

$$W' = 2 \times 1.75 \times 1.57 \times 2 = 12 \text{ kg}$$

ملحوظة :

عند سند المدادة التي على منحدر، يحدث عزوم حتي (سالبة) حول المحور y-y عند نقط السند ، وهذه بالطبع أكبر من الموجبة، وبذلك تكون جهود الضغط العالية في ألياف الجذع (شكل ١١-٢٨).



شكل (٢٨-١١)

ومن هنا ينتظر أن يقل احتمال حدوث تحنّب جانبي للشفة ، يضاف إلى ذلك ما يساهم به تغيّر الجهود في طول المدادة بين شدّ وضغط في مقاومة ذلك التحنّب . هذا ولا يمكن اعتبار الشدّاد سِنادة فعالة للشفة .

حساب الشدّادات

القوى في الشدّادات :

يحسب الشدّاد ليقاوم ردّ فعل المركبة في الاتجاه $y-y$ (الموازية للسطح) .

القوة في الشدّاد الأول من المدادة الطرفية

$$T_1 = 1.1 p' y \times \frac{s}{3}$$

$$T_2 = T_1 + 1.1 p_y \times \frac{s}{3}$$

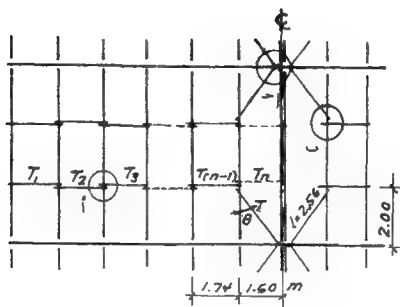
القوة في الشدّاد الثاني

$$T_n = T_1 + 1.1(n-1)p_y \times \frac{s}{3}$$

القوة في الشدّاد "الموازي"

$$T = \frac{T_n}{\sin \theta}$$

القوة في الشدائد الأخير



شكل (٢٩-١١)

اختيار المقطع :

لما كانت القوة التي يتعرض لها الشدائد صغيرة فإنه يكفي لمقاومتها سيج ذو مقطع مستدير ، ولكي تتحمل المركبة ٧ من كل مدادة إلى التي أعلاها لزم أن يفصل السيج بين كل مدادتين وأن يزود كل من طرفيه بصامولة ، وبذلك يمكن ضبط استقامة المدادات . ويفضل ألا يقل قطر الشدائد عن ١٣ مم ، ولا يتغير مقطع السيج في كامل السطح ، وبذلك يُكفَى بحساب الشدائد الأخير .

مثال (٧-١١) - المطلوب حساب مقطع الشدائد للمدادة في المثال

(٦-١١) ، إذا كان الجمل مكونا من عشرة قمل .

المركبة في اتجاه الوتر العلوى :

للمدادة المتوسطة 85.0 kg/m'

لمدادة الحرف 0.6 × 85.0 = 51.0 kg/m'

القوة في الشداد الخاص :

$$T_5 = 1.1 \times 51.0 \times 2.0 + 4 \times 1.1 \times 85.0 \times 2.0 = 860 \text{ kg}$$

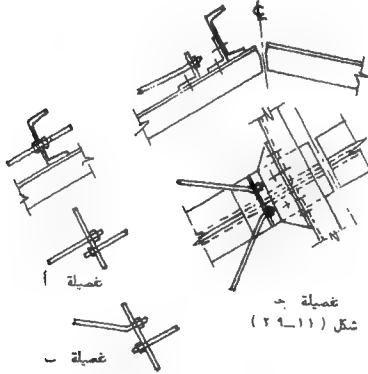
$$\sin \theta = 1.6/2.56 = .625 \quad \text{شكل (٢٩-١١)}$$

$$T = \frac{860}{.625} = 1376 \text{ kg}$$

$$A_s = \frac{1376}{0.7 \times 1400} = 1.40 \text{ cm}^2$$

$$\text{taken } \phi 16 \text{ mm } (A = 2.01 \text{ cm}^2)$$

ويوضح شكل (٣٠-١١) الغاصيل الإنشائية لت تركيب الشدادات .

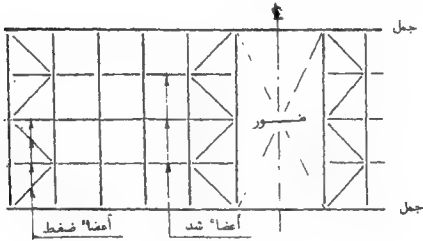


شكل (٣٠-١١) - غاصيل الشدادات

المادة الرأسية :

رغم أن المادة الواقعة في المستوى الرأسي لا تتعرض لعزم حسي مزدوج (إلا إذا أدخلنا ضغط الريح ، وهو عادة لا يكون حرجا) ، إلا

أنه يبقى من اللازم سند شفة العدادة التي تحت ضغط لمقاومة التحنيب الجانبي • ولهذا الغرض تستخدم مجموعتان من نظام الأربطة فيما بين العدادتين الأوليين وقطع بين العدادتين جهة المنتصف • فإذا وجد بالسطح منور وضع نظام الأربطة مجاوراً له ، (شكل ١١-٣١) • والأغلب أن يكون هذا النظام من طراز (W) ويلزم أن تحسب جميع أعضائه لتعمل في الضغط • ولسند باقي العدادات البينية تمد أعضاؤه طولية ، لتعمل في الشد • ويلاحظ أن تكون وصلات جميع هذه الأربطة قرب شفة الضغط للعدادة •



شكل (١١-٣١)

سند شفة الضغط للعدادة الرأسية

نخلص من دراسة تصميم العدادة إلى أنه ، قبل إجراء الحسابات الاستاتيكية يجب :

- ١- تعيين الحد الأدنى للعق بحدوث يقاوم الترخيم •
 - ٢- دراسة سند شفة الضغط للعدادة الرأسية •
 - ٣- دراسة سند العدادة على منحدر بشدائدات •
- كما وأنه بعد اختيار المقطع ، يجب التحقق من مقاومته للحمل المركز

- الفروض على السطح (١٥٠ كج) ، إضافة إلى الأحمال الميتة .
 مثال (٧-١١) - لمراجعة العدادة في المثال (٦-١١) .

$$P_{D.L.} = 58.0 \text{ kg/m'}$$

$$p_x = 58.0 \times .894 = 52.0 \text{ kg/m'}$$

$$p_y = 58.0 \times .447 = 26.0 \text{ kg/m'}$$

$$P_x = 150 \times .894 = 134.0 \text{ kg}$$

$$P_y = 150 \times .447 = 67.0 \text{ kg}$$

$$M_x = \frac{52 \times 6.0^2}{8} + 134 \times \frac{6}{4}$$

$$= 234 + 435 = 669 \text{ kg m}$$

$$M_y = \frac{26 \times 2.0^2}{10} + \frac{67 \times 2.0}{5}$$

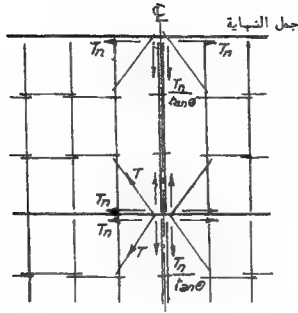
$$= 10.4 + 20.8 = 37.2 \text{ kg m .}$$

$$f = \frac{66900}{86.4} + \frac{3720}{14.8}$$

$$= 774 + 251 = 1025 \text{ kg/cm}^2 \text{ O.K.}$$

دراسة

تأثير المركبة (٧) للأحمال من العدادات على الجمالون
 يعدّل استخدام الشدادات للعدادات في توزيع الأحمال على
 الجمالون ، فإن الحمل الذى ينتقل من العدادة إلى الجمالون يصبغ
 عبارة عن المركبة (X) لجميع الأحمال والمركبة (٧) للأحمال على
 نصف العدادة . عند استخدام شداد واحد وعلى ثلث العدادة ، عند
 استخدام شدادين . أما باقى المركبة (٧) فإنها تنتقل ، بعد
 تجمعها في الشداد الأخير ، إما إلى الوتر العلوى للجمالون (راجع
 شكل ٢٩-١١) وإما إلى مدادة القفّ (راجع شكل ٢٧-١١) .



شكل (٣٢-١١) - تأثير الشدادات على جمل النهاية

فإذا نقلت القوة (T) في الشدات الأخير إلى الوتر العلوي للجملون فإن مركبتها في اتجاه الوتر العلوي تساوي (T_n) ، مجموع المركبات في الاتجاه $y-y$ كما تتولد عن ميل الشدات قوة عمودية على الوتر تساوي $T_n / \sin \theta$ ، (شكل ٣٢-١١) ، فعند جمل متوسط تتزن القوتان العموديتان ، بينما يؤثر على الوتر العلوي في اتجاهه قوة تساوي $2 T_n$. وإذا اختلفت القوتان T على جانبي الوتر العلوي بسبب اختلاف حالات التحميل يتسبب فرق القوتين العموديتين نسي حدوث عزم حني حول محوره القوى $y-y$. كما يتعرض الوتر العلوي أو

العقدة الجاورة لرباط الشدات فيه لعزم

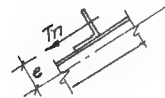
حني آخر حول المحور الضعيف $x-x$ للوتر،

ناشئ عن زخزعة القوة T_n عن ذلك

المحور ، (شكل ٣٣-١١) . إلا أن نقل

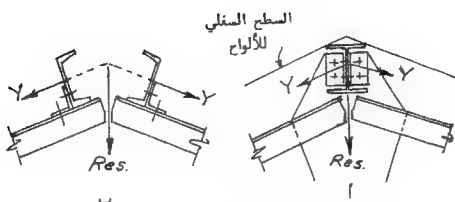
قوة الشدادات إلى مدادة القمة يخلص

الوتر من معظم هذه العزوم (شكل



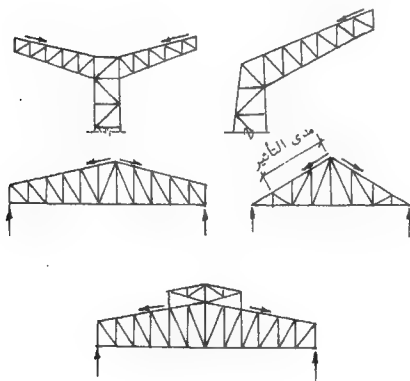
شكل (٣٣-١١)

٣٤-١١) . وفي هذه الحالة تحسب زيادة القمة لتقاوم -



شكل (١١-٣٤)

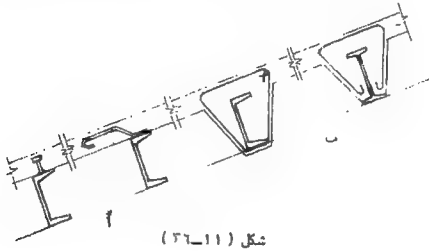
بالإضافة إلى الأحمال التي عليها - محصلة قوتي الشد التي تكون رأسية إذا تعاضلت القوتان • أما إذا اختلفت القوتان فإن مادة القمة تتعرض لعزم حني مزدوج •



شكل (١١-٣٥)

وتجدر ملاحظة أن هذه القوى (T) ليست قوى إضافية على الجمالون ، وقد سبق أن أشرنا إلى ذلك في بدء هذه الدراسة .
 لكن ما حدث هو تعديل في توزيع الأحمال ، إذ قلّت الأحمال عند العقد وزادت قوة إضافية عند وصلة الشدّاد بالوتر العلوى أو عند مدادة القمة . ومن ثم تظل ردود الأفعال عند الركائز دون تغيير .
 ويختلف تأثير قوة الشدّاد على أعضاء الجمالون بحسب طرازه وموقع القوة من الوتر (شكل ١١-٣٥) .

تغطية السطح بالخرسانة المسلحة
 إذا غُطّي السطح المصدّر لجمالون ببلاطة مصبوبة عليه وجب أن يكون هناك ارتباط فيما بين البلاطة الخرسانية والمدادة الفولاذية (شكل ١١-٣٦) ، إما بلحام عناصر بشفة المدادة التي ترتكز عليها البلاطة (أ) وإما بتغليف المدادة بالخرسانة المسلحة (ب)



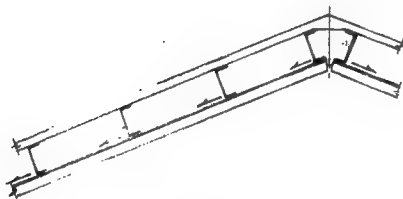
ولهذا الارتباط الميزات التالية :

- ١- أن زيادة سمك البلاطة عند المدادة حيث عزم الحني السالب يقلل من التسليح اللازم له . كما يمكن أن يقلل من السمك المطلوب للبلاطة .

٢- يساعد الارتباط في أن تشترك البلاطة مع الكمرات في مقاومة عزم الحني ، مما يحقق وفرا في المقطع الفولاذي .

٣- يتمتع حدوث ترخيم للعدادة في اتجاهها الضعيف وبذلك لا ينشأ عزم حني عن المركبة .

وتنتقل ردود أفعال المركبات P_y إلى مركز العدادات على الجمل .
(شكل ١١-٣٧) وينصح بتقوية البلاطة عند القمة ، لمقاومة قوى الشد على الجانبين .



شكل (١١-٣٧)

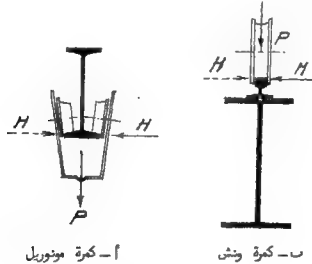
الفصل الثاني عشر

الكمرات المعرضة لعزم حني مزدوج

كثيرا ما تتعرض الكمرات في المنشآت لعزم حني مزدوج ، كما في العناصر التالية ؛ وقد تصاحبها أحيانا قوى عمودية :

- ١- الكمرة الحاملة لمرفاع وحيد القضيب (مونوريل Monorail) - أ-
أو ونش علوي سيار (Overhead travelling crane)
ب- حيث تؤثر عليها قوة جانبية وقوة طولية مصاحبة للحمل
الرأسي (شكل (١٢-١))

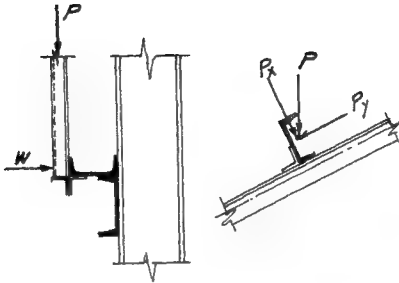
- ٢- مدادة السطح عندما ترتكز على سطح منحدر وبذلك لا تقع
الأحمال الرأسية في مستوى أي من المحورين الرئيسيين
(شكل (١٢-٢))



أ- كمرة مونوريل

ب- كمرة ونش

شكل (١٢-١)



أ- مدادة سطح ب- مدادة جانبية (مركبة)

شكل (١٢-٢)

٣- مدادات الجانِب التي تحمل الأُظلية الرأسية وتؤثر عليها قوة الريح الأفقية (شكل ١٢-٢ ب).

٤- الكُرة الطولية في جسر سكة الحديد حيث تؤثر عليها صدمة جانبية إضافة إلى الأحمال الرأسية .

٥- الكُرة العرضية في جسر سكة الحديد حين تخضع لتأثير قوة الكبح .

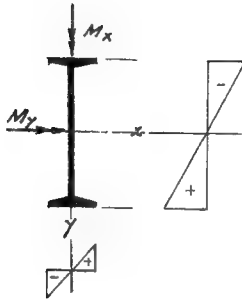
٦- بعض أعمدة الإطارات التي لا يمكن سندها في الاتجاه الطولي .

اختيار المقطع :

إذا تعرضت كُرة لأحمال عمودية على كل من محوريها الرئيسيين فإن الجهود العمودية في قطعها تحسب من المعادلة :

$$f = \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (12-1)$$

$$f = \pm \frac{M_x}{Z_x} \pm \frac{M_y}{Z_y} \quad (12-2)$$



شكل (٢-١٢)

وبوضع هذه المعادلة في الصورة التصميمية :

$$\text{Req. } Z_x = \frac{M_x + \frac{Z_x}{Z_y} M_y}{f_{pt}} \quad (12-3)$$

ولما كانت هذه المعادلة تحوي مجهولين : Z_x و Z_y ، فإنه يمكن حلها عن طريق التجربة . فإذا فرضنا العلاقة التالية بين هذين المجهولين :

$$Z_x = K \cdot Z_y \quad (12-4)$$

تصبح المعادلة التصميمية :

$$\text{req } Z_x = \frac{M_x + K M_y}{f_{pt}} \quad (12-5)$$

أما عن القيمة التي نغرض للمعامل K ، فإنها تتوقف علي طبيعة المقطع :
المدلفن والمبني .

أولاً : المقاطع المدفئة :

أ- بمراجعة جداول المقاطع المدفئة من شكل I العادية وشكل I عريضة الشفة وشكل [مجرة ، نجد أنه ثمة علاقة بين Z_y و Z_x وإن اختلفت النسبة بين مقطعين من شكلين مختلفين، كما تختلف للمقاسات المختلفة من نفس الشكل . ويبين الجدول التالي قيم K للمقاطع المدفئة .

جدول (١-١٢)

النسبة بين Z_y و Z_x للمقاطع المدفئة

$K = Z_x / Z_y$												الخطى
100	140	160	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	ورقه
4.9	5.8	6.3	7.0	7.9	10.0	-	-	-	-	-	-	[
7.0	7.7	7.9	8.0	9.0	9.8	10.3	10.7	-	-	-	-	S.1.8
2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	4.0	5.1	6.3	7.6	9.0	10.4	11.8	B.F.I.B

ب- نظرا للغايات الكبيرة في قيم (K) فإن اختيار القيمة المناسبة فيرميسر لأول وهلة . ويتكي اختيار قيمة متوسطة، ثم تراجع الجداول لمقطع مبدئي يناسب قيمة Z_x المحسوبة وتقارن النسبة بين معايير مقطعه بقيم (K) المختارة فإذا كان الفرق كبيرا أعيد اختيار مقطع آخر قبل تحقيق الجهود (انظر المثال ١-١٢) .

ج- يلاحظ من المعادلة (5-12) أن تأثير العزم M_y على اختيار المقطع يتضاف ببقية المعامل (K) ولما كانت قيمة (K)

للمقاطع عريضة الشفة أصغر منها للمقاطع العادية كان المقطع عرض الشفة أنسب للكرة عندما تتعرض لعزم حتي مزدوج . هذا بالإضافة إلي أن العرض الأكبر للشفة يجعل الكرة أكثر استقرارا بالنسبة للتحنيب الجانبي لشفة الضغط .

د- إذا احتوت أى من الشفتين علي ثقب لبراغي وخاصة لو كانت تلك الثقوب في منطقة معرضة للشد وجب زيادة قيمة Z_x المحسوبة بنحو ١٥% ، ثم يحقق الجهد الفعلي من واقع القيمة الصافية لكل من Z_x و Z_y .

مثال (١٢ - ١) - المطلوب اختيار مقطع I للكرة بحرها 5.80 m وتحمل حملا موزعا قدره 3000 kg/m^1 ، وتؤثر عليها قوة جانبية قدرها 500 kg/m^1 .

$$M_x = 12,650 \text{ kgm}$$

$$M_y = 2100 \text{ kgm}$$

أ- مقطع I عريض الشفة

لنأخذ

$$Z_x = 5 Z_y$$

$$\text{Req } Z_x = \frac{(12540 + 5 \times 2100) \times 100}{1400} = 1654 \text{ cm}^3$$

$$\text{B.F.I } 300 : Z_x = 1720 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 600 \text{ cm}^3$$

$$K \approx 3 < 5$$

لذا تجب إعادة الاختيار :

$$\text{Req. } Z_x = \frac{(12650 + 3 \times 2100) \times 100}{1400} = 1359 \text{ cm}^3$$

$$\text{B.F.I } 280 : Z_x = 1480 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 523 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 f_{act} &= \pm \frac{1265000}{1480} \pm \frac{210000}{523} \\
 &= \pm 855 \pm 402 \\
 &= \pm 1257 \text{ kg/cm}^2 \\
 &< 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

ب - مقطع I عادي

$$\begin{aligned}
 Z_x &= 9 Z_y \\
 \text{Req. } Z_x &= \frac{(12540 + 9 \times 2100) \times 100}{1400} = 2254 \text{ cm}^3 \\
 \text{S.I.B. 475 } Z_x &= 2380 \text{ cm}^3 \\
 Z_y &= 235 \text{ cm}^3 \\
 K &= 10 \\
 f_{act} &= \pm \frac{1265000}{2380} \pm \frac{210000}{235} \\
 &= \pm 532 \pm 984 \\
 &= \pm 1426 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{يمكن قبوله})
 \end{aligned}$$

الناقشة :

١ - إن الجهود في المقطع I العادي الناشئة عن العزم M_y أكبر بكثير من الجهود الناشئة عن العزم M_x ، كما أنها أكثر من ضعف مثلثاتها للمقطع عريض الشفة وهذا ما سبق أن أوضحناه في الفقرة (د) .

٢ - إنَّ كَبَرَّ تأثير M_y يوحي بأنه من الأنسب تقليل ذلك التأثير ويكون ذلك بإحدى طريقتين :

— تقليل الحمل — أو القوة — في ذلك الاتجاه ، إذا كان ذلك متيسراً .

٢- تصغير فتحة الكمره في ذلك الاتجاه ، أو بمعنى آخر سند

الكمره جانبيا فيقل عزم الحني ، كما سنتمله فيما بعد .

٣- يزن المتر الطولي من الكمره عريضة الشفة ١١٣ كج ومن الكمره العادية ١٢٨ كج أى أن الأخيرة أثقل بنحو ١٣% (مع غرض النظر عن الفرق في الجهد الفعلي) . وسنرى في الفقرة التالية أن هذا ليس كل صيب القطع العادي .

٤- استقرار شفة الضغط

أ- المقطع عريض الشفة :

$$b = 28.0 \text{ cm} , t = 2.0 \text{ cm}$$

$$h = 28.0 \text{ cm} , t = 1.2 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{580.0 \times 28.0}{28.0 \times 2.0} = 290$$

$$< 600$$

أى أن الشفة مستقرة ويكون الجهد المسموح به هو f_{pt}

ب- المقطع I العادى :

$$b = 13.7 \text{ cm} , t = 1.83 \text{ cm}$$

$$h = 47.5 \text{ cm} , t = 1.22 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{580.0 \times 47.5}{13.7 \times 1.83} = 1053$$

$$> 600$$

ويكون الجهد المسموح به حسب المواصفات الأمريكية :

$$f_{pB} = \frac{840,000}{1053} = 798 \text{ kg/cm}^2$$

وعلى هذا يكون المقطع العادى I475 غير سليم .

ولكي تقاوم الشفة التحنيب ، يجب أن يكون طولها الحر :

$$L_B = \frac{600 \times 47.5}{13.7 \times 1.83} = 317 \text{ cm}$$

أى أنه يجب سند الكمره جانبيا في منتصفها .

وبمقارنة هذه بالمواصفات المصرية التي تنص على ألا يزيد طول الشفة الحرة على ١٥ مرة عرضها أى :

$$L_B \nless 205 \text{ cm} \nless 15 \times 13.7$$

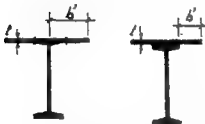
أى أنه يجب سند الكوة جانبيا في نقطتي الثلث .

ولكن سند الكوة جانبيا يؤدي في نفس الوقت إلى تقليل عزوم الحني M_y في ذلك الاتجاه ، وازدياد نقط السند يتناقص عزوم الحني . ويعتبر هذا الحل مثاليا طالما كان ذلك ممكنا كما نسي مدادات السطح والمدادات الجانبية في الخشبات ، وكذلك الكمرات الطولية والعرضية في الكبارى . إلا أنه يجب ، في جميع الأحوال ، سند الكوة جانبيا عند نقط ارتكازها لنقل مركبة الحمل P_y إلى الركيزة .

أما كوة المرافق وحيد القضيبي فإنه يتعذر سندها جانبيا فيما بين نقط ارتكازها ، وربما كان أبسط الحلول هو زيادة عرض الشفة بلحام لوح فوقها أو لوحين بجانبها (شكل ١٢-٤) . ويجب أن يحقق سمك اللوح المضاف شرط مقاومة التحنيب الموضعي للشفة .

$$t \nless \frac{b'}{15} \text{ للكمرات العادية.}$$

$$t \nless \frac{b'}{12} \text{ للكمرات المطحوة.}$$



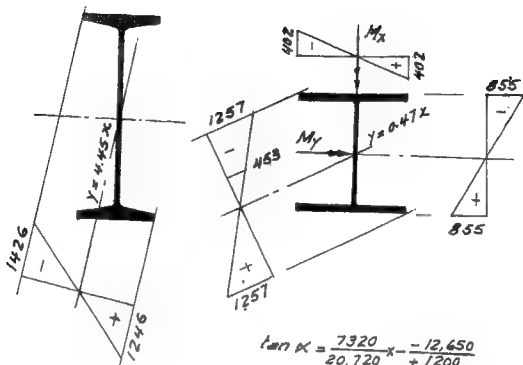
وقد تحقق هذه الإضافة وفرا نسي القطع المختار ، وبذلك يلزم إعادة الحسابات بعد اختيار

شكل (١٢-٤)

لوح التقوية .

المحور المحايد :

يلاحظ أنه في المقطع المعرض لعزم حني مزدوج يعمل المحاور المحايد على المحور الرئيسي للمقطع حتى ولو كان المقطع متماثلا (شكل ١٢-٥) .



$$\tan \alpha = \frac{7320}{20,720} \times -\frac{12,650}{1200} = 2.13$$

شكل (١٢-٥ ب)

شكل (١٢-٥ أ)

ويحسب ميل المحور المحايد من مساواة الجهد بالفرع عند مركز المقطع

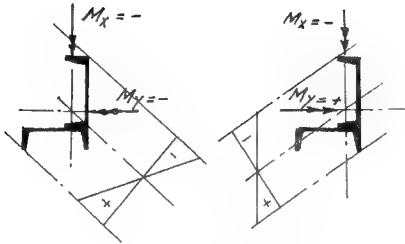
$$0 = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (12-6)$$

$$y = \frac{M_y}{I_y} \cdot \frac{I_x}{M_x} \cdot x \quad (12-7)$$

ويكون ميل المحور المحايد :

$$\tan \theta = \frac{I_x}{I_y} \cdot \left(-\frac{M_y}{M_x} \right)$$

أي أن الميل يتوقف على إشارة كل من M_x و M_y (شكل ١٢-٦) .
ولما كان كل من الحدين في المعادلة (12-6) يحمل الإشارتين \pm



شكل (٦-١٢)

، كان من اللازم الاغاق على نظام لإشارة كل من عزمي الحني • وسوف
نعتبر هنا إشارة عزم الحني سالبة إذا أحدثت جهود ضغط في الربع
الأول من الإحداثيات • وسوف نعود إلى هذا الموضوع بتفصيل أكبر
فيما بعد •

ثانيا : مقطع I مبني ملحوم :

المعتاد في اختيار المقطع المبني المعرض لعزم حني منفرد قَرُصُ
عمق المقطع ومنه تحسب المساحة اللازمة للشفة • فإذا تعرض المقطع
المبني لعزم حني مزدوج وجب اختيار كل من العمق وعرض الشفة لما
لكل منهما من تأثير على معايير المقطع حول المحور العمودي عليه •
كما أن عرض الشفة يؤثر على مقاومتها للتحنيب الجانبي • ومن هنا
يمكن استنتاج العلاقة فيما بين Z_x و Z_y والتي يمثلها المعامل (K)

في المقطع العيين بشكل (٧-١٢) :

بالنسبة للمحور $x-x$:

يمكن كتابة معادلة عزم المطالة :

$$I_x = A r_x^2$$

ومن العلاقة التقريبية بين r_x وعق المقطع :

$$r_x \approx 0.4 d$$

$$Z_x \approx 0.32 A d \quad (12-8 a)$$

وبالنسبة للمحور $y-y$:

$$I_y \approx \frac{2 t b^3}{12}$$

وبفرض مساحة الشفتين بالنسبة لمساحة المقطع :

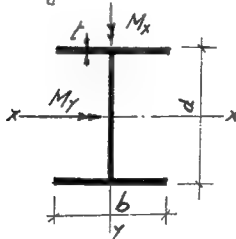
$$A_{f1} = c . A$$

$$Z_y \sim \frac{c A b}{6} \quad (12-8 b)$$

وبذلك تكون النسبة بين Z_y و Z_x :

$$K = \frac{1.92}{c} \frac{d}{b} \quad (12-8 c)$$

$$K = C \frac{d}{b} \quad (12-8)$$



شكل (١٢-٧)

وليس النسبة c بين مساحة الشفة ومساحة المقطع ثابتة فهي تتأثر بالمعق ، ففي المقاطع I العادية تقل كلما ازداد المعق (من 0.61 إلى 0.55) وفي المقاطع I عريضة الشفة تقل من 0.78 إلى 0.54 - بد^١ من رقم 300) وتصل هذه النسبة إلى نحو 0.60 في الكمرات كبيرة المعق • ويبين الجدول (١٢-٢) قيم المعامل (C)

العاظرة للنسبة (c)

جدول (٢-١٢)

$c = \frac{A_{F1}}{A}$	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$C = \frac{1.92}{c}$	3.84	3.50	3.20	2.95	2.74	2.56	2.40

ولما كانت قيمة المعامل (C) التي تؤثر على اختيار المقطع تتوقف على عوامل كثيرة منها النسبة بين عمق المقطع وعرضه والنسبة بين عزمي الحني اللذين يتعرض لهما المقطع والنسبة بين مساحة الشفة ومساحة المقطع ، وبذلك لا يمكن تحديدها مسبقاً فقد يقتضي الحساب أكثر من محاولة . فإذا اعتبرنا أن النسبة بين مساحة الشفتين تتراوح بين 0.55 و 0.65 من مساحة المقطع فإنه يمكن تقدير قيمة محدثة للمعامل (C) وليكن (3) . وعندئذ يصبح اختيار مقطع لكرة معرصة لعزم حني مزدوج أمراً هيناً ، كما يتضح من المثال التالي :

مثال (٢-١٢) - المطلوب اختيار مقطع طحوم للكرة الموصوفة في المثال (١-١٢) . بالمقارنة بالكرة I العادية (حيث كان عمق المقطع ٤٧٥ مم) :

بأخذ $C = 3$ ، $b = 250$ ، $h = 480$ mm

$$K = \frac{3 \times 48}{25} = 5.8$$

المعامل الافتراضي للمقطع : $Z_x = \frac{(12650 + 5.8 \times 2100) \times 100}{1400}$

$$= 1773 \text{ cm}^3$$

المساحة التقريبية للمقطع Web 450×10 $A = 45.0 \text{ cm}^2$

Flanges $2 \times 250 \times 14 = 70.0 \text{ cm}^2$

Total 115.0 cm^2

$$I_x = \frac{1.0 \times 45.0^2}{12} + 2 \times 25 \times 1.4 \times 23.2^2$$

$$= 45,270 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \times \frac{1.4 \times 25.0^3}{12} = 3646 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = \frac{45,270}{23.9} = 1894 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = \frac{3646}{12.5} = 292 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = \frac{1,265,000}{1894} + \frac{210,000}{292}$$

$$= 668 + 719 = 1387 \text{ kg/cm}^2$$

الجهد في الحدود المسموح بها ؛ ويبقى التحقق من استقرار شفة الضغط :

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580.0 \times 47.8}{25.0 \times 1.4} = 792 > 600$$

$$f_{pB} = \frac{840,000}{792} = 1060 \text{ kg/cm}^2$$

وعلى هذا فالمقطع غير سليم ؛ وتعديل المقطع إلى :

$$\text{Web } 420 \times 10 = 42.0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Flanges } 2 \times 280 \times 14 = 78.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Total } 120.4 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = -1231 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{يصح :}$$

$$f_{pB} = 1267 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

المقاطع المركبة للكمرات

يلجأ إلى استعمال المقطع المكون من عدة عناصر مدلفنة في الحالات الآتية :

١- إذا تعرضت كمرّة لمؤثرات متعددة الاتجاهات .

٢- إذا لم يتيسر سند الكرة جانبيا لمقاومة التحنيب العرضي لشفة الضغط .

٣- إذا اقتضت ظروف العنصر أن يحدد عمق الكرة ، أو لم يتيسر الحصول على المقطع اللاتم .

٤- إذا طلب تقوية كرة في منشأ قائم .

وقد يصبح المقطع بعد الإضافة متماثلا (شكل ٨-١٢ أ) ، وقد يصبح متماثلا حول محور واحد (شكل ٨-١٢ ب) ، وقد يصبح غير متماثل (شكل ٨-١٢ ج) .

فلما كان كل من المقطع I العادي والمقطع المجرة ضعيفا بدرجة كبيرة حول محوره الأصغر فإن إضافة مقطع آخر يتعامد محوره الأكبر على ذلك المحور الأصغر يجعل المقطع المركب أقدر على مقاومة عزم الحني في ذلك الاتجاه . وعندما تكون هذه الإضافة عند شفة الضغط فإنها تزيد من قدرتها حيث يزداد عرض الشفة أو سمكها أو كلاهما بحيث يصبح المقطع أقدر على مقاومة التحنيب الجانبي . كما قد يزداد المقطع المضاف من عمق المقطع المركب مما يزداد في جسامته . وعلى هذا فإن شكل المقطع المركب يتوقف على الفرض المطلوب له مثل كمرة الأوتاش والكمرة حاملات الحوائط والدادات الجانبية للأبنية الصناعية .

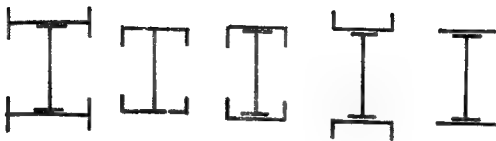
أولا - تقوية مقطع I لمقاومة عزم حني منفرد

أ - التقوية المتأثلة :

بإضافة عنصرين متماثلين (لوحين أو مقطعي مجرة) إلى مقطع I ، يزداد معايير المقطع فتزداد قدرته كما يزداد عرض الشفة (أو عمقا) فتزداد قدرتها على مقاومة التحنيب الجانبي (والموضعي) .

ولحساب مساحة كل من العنصرين (A_{pI}) المطلوبين لتقوية

مقطع I ارتفاعه (h) وعزم عطالته (I_I) ومعايره (Z_I)



أ - مقاطع متماثلة



مقاطع شبه متماثلة

مقاطع متماثلة

ب - مقاطع متماثلة حول محور واحد



ج - مقاطع غير متماثلة

شكل (٨-١٢) - المقاطع المركبة

عزم عطالة المقطع المقوى :

$$I_{req} \approx I_I + 2 A_{pl} \left(\frac{h}{2}\right)^2 \quad (a)$$

معايير المقطع المقوى :

$$Z_{req} \approx Z_I + A_{pl} \cdot h \quad (b)$$

ومنها :

$$A_{pl} \approx \frac{Z_{req} - Z_I}{h} \quad (12-9)$$

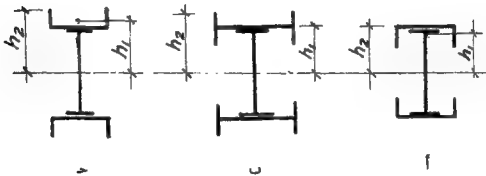


ويعد إيجاد المساحة يختار عرض اللوح ليحقق استقرار شفة الضغط لمقاومة التحنيب الجانبي كما يحدد سمكه ليقاوم التحنيب العوضي لشفة الضغط ، وفي النهاية يحقق الجهد الفعلي في المقطع .

شكل (١٢-٩)

وفي الخطوات التي استتجت منها

المعادلة (12-9) تقرب في قيمة (h) ويزداد هذا التقريب إذا كان عنصر التقوية مقطعا مدلفنا ، كما في شكل (١٢-١٠) .



شكل (١٢-١٠)

إن يكون الفرق كبيرا بين قيمة h_1 المستعملة في المعادلة (a) وبين قيمة h_2 المستعملة في المعادلة (b) وكتلتهما مبهولة .

وتكون المساحة المطلوبة للعنصر المضاف أكبر مما تحسب من المعادلة (9-12) لما في هذه المعادلة من تقريب ، ويكون الفرق أكبر عندما تكون h_1 أقل من نصف عمق الكرة ، وكذلك إذا زادت h_2 على نصف العمق . كما يوضح من الأمثلة التالية :

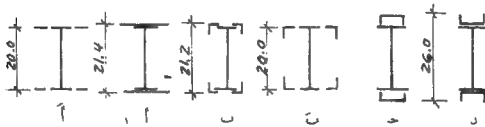
مثال (١٢-٣) - المطلوب تقوية مقطع S.I.B. 200 ليصل إلى مقدرة مقطع S.I.B. 240 لكثرة بحرها 5.80 m .

Séction	$I_x \text{ cm}^4$	$Z_x \text{ cm}^3$	$A \text{ cm}^2$
I 240x106	4250	354	46.1
I 200x90	2140	214	33.5

المساحة المطلوبة للتقوية حسب المعادلة (9-12) :

$$A_{pl} = \frac{354-214}{20} = 7.0 \text{ cm}^2$$

يبين شكل (١٢-١١) المقاطع والأوضاع للعناصر الممكن استخدامها



شكل (١٢-١١)

أ - باستعمال لوحين 2 PL 100 x 7

$$I_x = 2140 + 2 \times 7.0 \times 10.35^2 = 3640 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = \frac{3640}{10.7} = 340 \text{ cm}^3$$

$$< 354 \text{ cm}^3$$

(لغرض المقارنة ، إذا كانت مساحة اللوح 6.46 cm^2 فإن :

$$Z_x = \frac{3524}{1.07} = 329 \text{ cm}^3 ,$$

أ - وإذا أُلحِم نفس اللوح (مقسوماً) على جانبي الشفة كمان

$$(Z_x = 334 \text{ cm}^3)$$

إذا استخدمنا مجرة بدلا من اللوح كانت على حسب أحد الأوضاع

التالية : مجرة على بطنها فوق شفة الكرة I ؛ ويجب انني هذه

الحالة ألا يقل الجزء المستقيم من جذع المجرة عن عرض شفة الكرة

I - فإذا لم يكن ذلك شُفَّت الكرة المجرة من منتصفها ولحمت كما

في شكل (ب) أو لحمت على جانبي الشفة كما في شكل (ب) أو لحمت

فوق الشفة على ظهرها كما في شكل (د) أو على بطنها كما في شكل

(د) .

في هذه المسألة أقرب مجرة إلى المساحة المطلوبة هي :

$$[60 \times 30, A = 6.4 \text{ cm}^2, I_y = 4.5 \text{ cm}^4, t = 0.6 \text{ cm},$$

$$e = 0.91 \text{ cm}$$

$$I_x = 2140 + 2 \times 4.5 + 2 \times 6.46 (10.6 - 0.91)^2$$

$$= 3362 \text{ cm}^4 \quad (\text{ب})$$

$$Z_x = \frac{3362}{10.6} = 317 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 3217 \text{ cm}^4 \quad (\text{ب})$$

$$Z_x = 322 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 2140 + 9.0 + 12.92 (13.0 - 0.91)^2$$

$$= 4037 \text{ cm}^4 \quad (\text{د})$$

$$Z_x = \frac{4037}{13.0} = 311 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 2140 + 9.0 + 12.92 (10.0 + 0.91)^2$$

$$= 3687 \text{ cm}^4 \quad (\text{د})$$

$$Z_x = \frac{3687}{13.0} = 284 \text{ cm}^3$$

جدول (٣-١٢) - مقارنة

المقطع	(د)	(ح)	(ب)	(ب)	(أ)	(أ)
$I_x \text{ cm}^4$	3687	<u>4037</u>	3217	3362	3343	3524
$Z_x \text{ cm}^3$	284	311	322	317	<u>334</u>	329
$f_{PB} \text{ kg/cm}^2$	1382	1382	1400	1400	811	1239

يتضح من الجدول ماسبق أن أشرنا إليه من تقريب يعيل نحو
النقص في حساب مساحة العنصر اللازم لتقوية مقطع I باستخدام
المعادلة (9-12) . إذ يتبين أن أقرب قيمة لمعامل المقطع التي
نفي بالفرض هي للمقطع (أ) . ولكن المقطع (أ) أنسب منه عندما
تكون شفة الضغط غير مسنودة ، حيث الجهد المسموح به فيه أكبر
كثيرا منه في (أ) (١٢٣٩ : ٨١١ كج / سم^٢) رغم أن عرض الشفة أكبر
(٩٠ : ١٦ سم) ومعايير المقطع أصغر (٣٢٩ : ٣٣٤ سم^٢) .

أما أكثر المقاطع جساءة فهو (ح) وإن كان معايره أقل من (أ) بنحو
٦% ، إلا أن الجهد المسموح به أكبر (١٣٨٢ : ١٢٣٩ كج / سم^٢)
وبذلك يكون المقطع (ح) أنسب المقاطع اختيارا ، طالما كان
استعماله ممكنا .

ورغم أن المقطع (ح) فيركاف لمقاومة عزم الحني الفروض ، حيث
معايير المقطع 311 cm^2 بدلا من 352 cm^2 بنقص قدره 9.3% ، إلا
أنه يلاحظ أن المقطع I الأصلي لا يفي بشرط استقرار الشفة حيث
ينخفض الجهد المسموح به فيه إلى 862 kg/cm^2 بنقص قدره
38.4% . وبذلك يكون المقطع المركب (ح) وكذلك (أ) أكثر اقتصادا
حيث مساحة أى منهما 46.42 cm^2 وهي تقارب مساحة المقطع
 $I (46.1 \text{ cm}^2)$.

وعلى العموم فإن المقطع المناسب هو S.I.B 200 مضافا
إليه 2 Pl 110x7 ومعايره 354 cm^2 والجهد المسموح به فيه

هو 1361 kg/cm^2 ومساحته 48.9 cm^2 .

مثال (١٢-٤) - في المثال (١٢-٣)، ماذا تكون القوة لـ

استعمل مقطع S.I.B 180 ؟

$$I_{180 \times 82} : I_x = 1450 \text{ cm}^4 \quad Z_x = 161 \text{ cm}^3$$

$$A = 27.9 \text{ cm}^2$$

$$A_{p1} = \frac{354 - 161}{18} = 10.7 \text{ cm}^2$$

٢ PL 110 x 10 — باستعمال لوحين

$$h = 20.0 \text{ cm}, I_x = 3436 \text{ cm}^4, Z_x = 344 \text{ cm}^3$$

٢ [S 80 x 45 — باستعمال مقطعي مجرة

$$A = 11.0 \text{ cm}^2, I_y = 19.4 \text{ cm}^4, t_w = 0.6 \text{ cm}$$

$$e = 1.45 \text{ cm}$$

$$h = 19.2 \text{ cm}, I_x = 2950 \text{ cm}^4, Z_x = 307 \text{ cm}^3 \quad \text{— ب}$$

$$h = 27.0 \text{ cm}, I_x = 4683 \text{ cm}^4, Z_x = 347 \text{ cm}^3 \quad \text{— ج}$$

$$h = 27.0 \text{ cm}, I_x = 3890 \text{ cm}^4, Z_x = 288 \text{ cm}^3 \quad \text{— د}$$

لازال المقطع (ج) أصلح المقاطع حيث يمتاز على (أ) بزيادة

الجساءة وفي كل هذه المقاطع الجهد المسموح به هو

$$1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ . وربما كان المقطع (أ) في هذه الحالة أنسبها}$$

من الوجهة العملية .

ب - القوة غير المتماثلة :

أولاً - بإضافة عنصر عند إحدى الشفتين ، حيث يلجأ إليها إذا لم

تتيسر القوة المتماثلة والغالب أن تكون الإضافة عند شفة الضغط

لزيادة قدرتها على مقاومة التحنيب الجانبي . ويكثر استخدام هذه

$$A_{p1} = \frac{321 - 278}{11 - \frac{2 \times 321 - 278}{39.6}} = 23.8 \text{ cm}^2$$

أ- باستخدام لوح (شكل ١٢-١٤)

$$b = \frac{580 \times 23.2}{600 \times 1.2} = 18.7 \text{ cm} \quad \text{العرض الأدنى المطلوب للوح}$$

P1 200 x 12

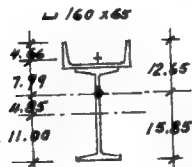
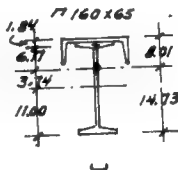
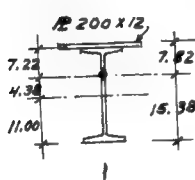
لنجرب

$$A = 39.6 + 24.0 = 63.6 \text{ cm}^2$$

$$e = \frac{24.0 \times 11.6}{63.6} = 4.38 \text{ cm}$$

$$I = 3060 + 39.6 \times 4.38^2 + 24.0 \times 7.22^2 = 5071 \text{ cm}^4$$

$$Z^- = 649 \text{ cm}^3, \quad Z^+ = 330 \text{ cm}^3$$



شكل (١٢-١٤)

$$f^+ = + \underline{1365} \text{ kg/cm}^2$$

$$f^- = - 693 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

ب - باستخدام مقطع مجرة على بطنه (شكل ١٢-١١ ب)

$$[160 \times 65 :$$

$$A=24.0 \text{ cm}^2, I_y=85.3 \text{ cm}^4, t_w=0.75 \text{ cm},$$

$$e=1.84 \text{ cm}.$$

$$e = \frac{24.0(11.75-1.84)}{63.6} = 3.74 \text{ cm}$$

$$I = 3060 + 39.6 \times 3.74^2 + 85 + 24.0(9.91-3.74)^2$$

$$= 4613 \text{ cm}^4$$

$$Z^- = 576 \text{ cm}^3, Z^+ = 313 \text{ cm}^3$$

$$f^+ = \underline{1438} \text{ kg/cm}^2$$

$$f^- = -313 \text{ kg/cm}^2$$

ج - باستخدام مقطع مجرة [160x65 على ظهره (شكل ١٢-١١ ج)

$$e = \frac{24.0(11.0+1.84)}{63.6} = 4.85 \text{ cm}$$

$$I = 3060 + 39.6 \times 4.85^2 + 85 + 24.0 \times 7.99^2$$

$$= 5608 \text{ cm}^4$$

$$Z^- = 443 \text{ cm}^3$$

$$Z^+ = 354 \text{ cm}^3$$

$$f^+ = \underline{1271} \text{ kg/cm}^2$$

$$f^- = 1016 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (١٢-٦) : في المثال (١٢-٥) ماذا يكون عنصر التقوية

إذا كان المقطع المطلوب تقويته S.S.I.B. 200

$$I_I = 2140 \text{ cm}^4, Z_I = 214 \text{ cm}^3, A_I = 33.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{pI} = \frac{321 - 214}{10 - \frac{2 \times 321 - 214}{33.5}} = -38.5 \text{ cm}^2$$

وقد أجريت ثلاث محاولات لاختيار لوح، إلا أن جهود الشد في أي منها لم تصل إلى الحد المسموح به رغم الزيادة غير المعقولة في مساحة اللوح، كما يتضح من الجدول (١٢-٣)

جدول (١٢-٣)

Size mm	A cm ²	F ⁺ kg/cm ²
200x18	36.0	1679
240x20	48.0	1642
300x24	72.0	1573

وباستخدام مقطع مجرة على ظهره :

[260x90

$$I_y = 317 \text{ cm}^4, e = 2.36 \text{ cm}, A = 48.3 \text{ cm}^2$$

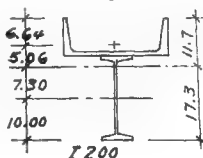
$$e = \frac{48.3 \times 12.36}{81.8} = 7.3 \text{ cm}$$

$$I = 2140 + 33.5 \times 7.3^2 + 317 + 48.3 (2.7 + 2.36)^2 = 5480 \text{ cm}^4$$

$$Z^+ = \frac{5480}{17.3} = 317 \text{ cm}^3$$

$$f^+ = \frac{450000}{317} = 1420 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{شكل (١٢-١٥)}$$

~ 1400 k/cm² (يمكن قبوله)



ثانيا - الكمرة المبنية غير متساوية الشفتين - لمقاومة عزم حني مفرد :
لاختيار عناصر مثل هذا المقطع ، يلجأ إلى بعض الفروض نوضحها
في الخطوات التالية :

نوضحها في الخطوات التالية :

- ١ - نبداً بفرض أن المقطع متماثل ونحسب المعايير المطلوب له .
- ٢ - نختار عمق وسلك الجذع ، ويفيد في هذا المجال حساب مقطع
II جاهز للاستئناس بحقه . ويكون المقطع المبني عادة أكبر
مقا وأقل سمكا .

- ٣ - نفرض أن معايير المقطع للشفتين معاً نحو 80% من معايير
المقطع الكامل (هذه النسبة أقل من تلك للمقطع المتماثل) .
- ٤ - نحسب المساحة المطلوبة للشفتين (لازلنا معتبرين المقطع
متماثلاً) وتكون هذه المساحة أصغر مما هو مطلوب للمقطع غير
المتماثل .

- ٥ - نحدد مقياس شفة الضغط بحيث تقاوم التحنيب الجانبي وكذلك
التحنيب الموضعي .

- ٦ - نوفق بين المقياس المحسوب لشفة الضغط وبين المساحة التي
قدرة لها محدثاً في (٤) وذلك بإنقاص المقياس والتضحية ببعض
الجهد المسموح به وزيادة المساحة .
- ٧ - ومن أجل ترشيد اختيار الشفة نشير إلى المثال (١٢ - ٥) الذي
نلاحظ منه ما يلي :

- أ - أن النسبة بين مساحتي شفتي المقطع المختار هي 1 : 3
- ب - أن شفة الضغط لم تعمل بكامل قدرتها حيث الجهد فيها
نحو نصف الجهد في شفة الشد مما يوحي بإمكان توزيع المساحة
بنسبة أفضل ، ولتكن 2 : 1 .
- ج - ومن حيث أن المعتاد أن تكون مساحة الجذع 40% من
مساحة المقطع ، تكون مساحة الشفتين مرة ونصف مساحة الجذع
وهذه تقسم بين الضغط والشد بنسبة 2 : 1 .

وتوضح في المثال التالي هذه الطريقة :

مثال (١٢-٧) - في المثال (١٢-٥) المطلوب اختيار مقطع ملحوم

غير متساوي الشفتين .

معيار المقطع متاثلا : $Z_{req} = 321 \text{ cm}^3$

نختار الجذع $P1 \ 300 \times 6$

معيار المقطع للوحي الشفة $Z_{pls} = 0.80 \times 321 = 257 \text{ cm}^3$

مساحة لوحي الشفة $A_{pls} \approx \frac{257}{15} = 17.2 \text{ cm}^2$

المعرض المطلوب لشفة الضغط ، بفرض استيعاب كل الجهد المسموح

به ، واختيار سلك ١٠ مم

$$b_{req} = \frac{580.0 \times 30.0}{600 \times 10} = 29.0 \text{ cm}$$

وبذلك تكون المساحة المطلوبة للشفتين :

$$29.0 \times 1.5 = 43.5 \text{ cm}^2$$

وهذه كبيرة جدا بالمقارنة إلى 17.2 cm^2

ويتطبيق ماجا" بالفقرة (٧-ح) تكون المساحة ، بالمقارنة بالجذع :

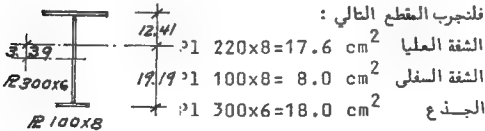
$$A_{p1} = 18.0 \times 1.5 = 27.0 \text{ cm}^2$$

ولعل هذا الرقم أقرب إلى الصحة لوقوعه بين الرقمين السابقين ، إلا

أنه لا يمكن اعتباره دقيقا لارتباطه بمساحة الجذع ، الذي يفرض دون

أساس حسابي .

R 220 x8



شكل (١٢-١٦)

$$e = \frac{17.6 \times 15.4 - 8.0 \times 15.4}{43.6} = 3.39 \text{ cm}$$

$$I = \frac{0.6 \times 30^3}{12} + 17.6 \times 15.4^2 + 8.0 \times 15.4^2 - 43.6 \times 3.39^2 = 6920 \text{ cm}^4$$

$$Z^+ = \frac{6920}{19.19} = 361 \text{ cm}^3$$

$$Z^- = \frac{6920}{12.41} = 558 \text{ cm}^3$$

$$f^+ = \frac{450000}{361} = 1247 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^- = \frac{450000}{12.41} = -806 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{540.0 \times 31.6}{22.0 \times 0.8} = 970$$

$$f_{pB} = \frac{840000}{970} = 866 \text{ kg/cm}^2 \quad 0.K.$$

وتعتبر الجهود الفعلية منخفضة وبالتالي يمكن إنقاص المقطع . ففي المقطع :

Pl 220x8 , Pl 100x8 , web 280x6

$$f^+ = 1340 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{تكون الجهود :}$$

$$f^- = -856 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{pB} = 925 \text{ kg/cm}^2$$

- يلاحظ الفرق فيما بين المقطع في المثال (١٢-٥) : 63.3 cm^2
والمقطع الجني الأخير : 42.4 cm^2

حيث يبلغ الوفر % 33 .

كما يلاحظ أن المقطع المدلفن للزخم لهذه الكرة غير المسنودة يصل إلى S.I.B. 320 ، الذي مساحته 77.8 cm^2 .

مثال (١٢-٨) - المطلوب اختيار مقطع ميني ملحوم لكرة بحجمها 540 m وتحمل حملا موزعا بانتظام قدره 3.0 t/m^2 - الكرة فيسر مسنودة .

$$M = \frac{3.0 \times 5.40^2}{8} = 10.935 \text{ tm}$$

معايير المقطع متماثلاً (بغض النظر عن استقرار الشفة) :

$$Z = \frac{1093500}{1400} = 781 \text{ cm}^3 \text{ (S.I.B. 320)}$$

PL 400x8 نخطار الجذع

$Z_{p1s} = 0.8 \times 781 = 625 \text{ cm}^3$ معيار المقطع للوحى الشفة

$$A_{pls} = \frac{625}{20} = 31.5 \text{ cm}^2 \quad \text{أ - مساحة الشفتين}$$

العرض المطلوب للوح الشفة ، بفرض استيعاب كل الجهد المسموح به ، واختيار سبك 10 مم

$$b = \frac{540 \times 40}{600 \times 1.0} = 36.0 \text{ cm}$$

ب - وبذلك تكون مساحة الشفتين $36.0 \times 1.5 = \underline{54.0} \text{ cm}^2$

ح - مساحة الشفتين بالنسبة للجذع المختار

$$32.0 \times 1.5 = 48.0 \text{ cm}^2$$

(لو أخذنا الجذع 400×6 لكنت مساحة الشفتين 36.0 cm^2).

لنجرب المقطم التالي :

الشفة العليا $P_1 300 \times 10$ ، الشفة السفلى $P_1 150 \times 10$

ومساحتها 45.0 cm^2 والجذع $1400 \times 8 \text{ P}$ والمساحة الكلية : 77.0 cm^2

$Z^+ = 878 \text{ cm}^2$ $Z^- = 1291 \text{ cm}^3$ معايير المقطع

$$f^+ = 1245 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{الجهود الفعلية}$$
$$f^- = 847 \text{ kg/cm}^2 < f_{pB} = 1111 \text{ kg/cm}^2$$

• أى أنه يمكن إنقاص هذا المقطع .

فإذا اعتبرنا الحظم التالي :

P1 260x10, P1 130x10, web 400x8

وفيه مساحة الشفتين 39.0 cm^2

تكون الجهود الفعلية $f^+ = 1377 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

$f^- = 959 \text{ kg/cm}^2 < f_{pB} = 963 \text{ kg/cm}^2$ O.K.

هذا ولا زال من الممكن أخذ الجذع P1. 400x7 وفي هذه الحالة

تصبح الجهود : $f^+ = 1433 \text{ kg/cm}^2 > 1400 \text{ kg/cm}^2$

$f^- = 976 \text{ kg/cm}^2 > 963 \text{ kg/cm}^2$

ويزيد جهد الشد بمقدار % 2.5 وجهد الضغط بمقدار % 1.5

على المسموح به مما يمكن التجاوز عنه .

ثانيا - المقطع المركب لمقاومة عزم حني مزدوج :

المعادلة العامة لحساب الجهود الفعلية في المقطع المركب

المعرض لعزم حني مزدوج هي :

$$f_{act} = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot y + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot x \quad (12-11)$$

وفيها x و y هما إحداثيا نقطة ما من المقطع بالنسبة للمحورين

المتعامدين x و y المارين بمركز ثقل المقطع المشترك I_x و I_y

عزما العطالة حول نفس المحورين ، I_{xy} ضرب عزمي العطالة

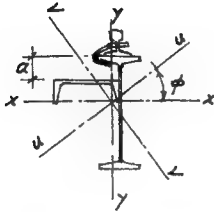
بالنسبة للمحورين المذكورين .

وعند استخدام هذه المعادلة يعتبر أي من عزمي الحني سالبا

إذا أحدث جهود ضغط في الربع الأول بالنسبة لمحوري الإحداثيات

وبذلك يكون الجهد في نقطة ما على المقطع ضغطا إذا كانت القيمة

المحسوبة من المعادلة سالبة . ويميل المحوران الرئيسيان



شكل (١٢-١٧)

المتعامدان $u-u$ ، $v-v$ والماران
بمركز القطع المشترك على المحورين
المتعامدين x و y المارين بنفس
المركز بزاوية ϕ تحسب من
المعادلة التالية :

$$\tan 2\phi = \frac{2 I_{xy}}{I_y - I_x} \quad (12-12)$$

وفي القطع غير المتماثل المعرض
لعزم حني منفرد تختصر المعادلة
(12-11) إلى :

$$f_{act} = M_x \frac{I_y \cdot y - I_{xy} \cdot x}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (12-13)$$

كما تختصر المعادلة (12-11) عندما يكون المقطع متماثلا ولو
حول محور واحد (حيث يكون $I_{xy} = 0$) إلى

$$f_{act} = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (12-14)$$

هذا ويمكن حساب الجهود العمودية الفعلية في المقطع المركب
المعرض لعزم حني مزدوج بمعادلة مشابهة للمعادلة (12-14)
ولكن ذلك يقتضي حسابات أطول وربما أكثر تعقيدا ، نوضحها فيما
يلي :

بعد حساب I_x و I_y و I_{xy} و $\tan 2\phi$ يحسب عزم العطالة
حول كل من المحورين الرئيسيين $u-u$ و $v-v$ من المعادلتين
التاليتين

$$I_u = I_x \cos^2 \phi + I_y \sin^2 \phi - I_{xy} \sin 2\phi$$

$$I_v = I_x \sin^2 \theta + I_y \cos^2 \theta + I_{xy} \sin 2\theta \quad (12-15)$$

أو من المعادلتين :

$$\left. \begin{aligned} I_u &= \frac{I_x + I_y}{2} - \frac{I_y - I_x}{2} \cos 2\theta - I_{xy} \sin 2\theta \\ I_v &= \frac{I_x + I_y}{2} + \frac{I_y - I_x}{2} \cos 2\theta + I_{xy} \sin 2\theta \end{aligned} \right\} \quad (12-16)$$

وفيها :

$$\cos 2\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 2\theta}} \quad (12-17)$$

$$\sin 2\theta = \frac{\tan 2\theta}{\sqrt{1 + \tan^2 2\theta}}$$

أو من المعادلتين :

$$I_v^u = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2} \quad (12-18)$$

وعندئذ يحسب الجهد الفعلي في نقطة ما (x و y) من القطع من المعادلة :

$$f_{act} = \frac{M'_x \cdot y'}{I_u} + \frac{M'_y \cdot x'}{I_v} \quad (12-19)$$

$$M'_x = M_x \cos \theta + M_y \sin \theta, \quad \text{وفيها :}$$

$$M'_y = M_y \cos \theta - M_x \sin \theta,$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta,$$

$$y' = y \cos \theta - x \sin \theta.$$

وتحسب جهود القص في المقطع غير المتماثل المعرض لقوة قص تؤثر في كل من المحورين $x-x$ و $y-y$ من المعادلة :

$$q = \frac{Q_x I_y - Q_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot A \cdot \bar{y} + \frac{Q_y I_x - Q_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot A \cdot \bar{x} \quad (12-20)$$

وفي المقطع غير المتماثل المعرض لقوة قص تؤثر في المحور $x-x$

$$q_x = Q_x \cdot A \frac{I_y \cdot \bar{y} - I_{xy} \bar{x}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (12-21)$$

فإذا كان المقطع متماثلاً وتؤثر عليه قوة قص في كل من المحورين :

$$q = \frac{Q_x}{I_x} \cdot A \cdot \bar{y} + \frac{Q_y}{I_y} \cdot A \cdot \bar{x} \quad (12-22)$$

حيث \bar{x} و \bar{y} في المعادلات الثلاث السابقة هما إحداثيا مركز ثقل الجزء المعتبر من المقطع بالنسبة للمحورين $x-x$ و $y-y$.

اختيار مقطع مركب معرض لعزم حني مزدوج

أولاً - المقطع المركب المتماثل :

قد يبدو أن اختيار مثل هذا المقطع متناه في البساطة ، فعادام المقطع مركباً ، ومعرضاً لعزمي حني (متعامدين) فإن الطريقة تكون كالآتي :

— نختار مقطعا ليقاوم عزم الحني الأول — محوره الأكبر في اتجاه ذلك العزم .

— نختار مقطعا متعامدا على الأول ليقاوم عزم الحني الثاني فيكون محوره الأكبر في اتجاه ذلك العزم .

فالمنتظر إذاً أن يكون المقطع المركب قادراً على مقاومة عزم الحني المزدوج .

— ثم نحقق الجهود الفعلية في المقطع المركب للتأكد أنها في

الحدود المأمونة . من أجل ذلك ندرس المثال التالي .

مثال (١٢-٩) — المطلوب اختيار مقطع مركب من مقطع I عادي

ومقطع مجرة ليقاوم عزم حني $M_x = 12.65 \text{ tm}$ وعزم حسي

$M_y = 2.10 \text{ tm}$ يؤثران في قطاع من كمره بحرها 5.80 m .

أ — المقطع الذي يقاوم M_x :

$$\text{Req. } Z_x = \frac{1265000}{1400} = 904 \text{ cm}^3$$

$$\text{S.I.B } 340 \times 137 \text{ (} Z_x = 923 \text{ cm}^3 \text{)} :$$

$$I_x = 15700 \text{ cm}^4, I_y = 674 \text{ cm}^4, A = 86.8 \text{ cm}^2,$$

$$t_w = 1.22 \text{ cm}$$

ب — المقطع الذي يقاوم M_y :

$$\text{Req. } Z = \frac{210000}{1400} = 150 \text{ cm}^3$$

$$[180 \times 70 \text{ (} Z_x = 150 \text{ cm}^3 \text{)} :$$

$$I_x = 1350 \text{ cm}^4, I_y = 114 \text{ cm}^4, A = 28.0 \text{ cm}^2,$$

$$t_w = 0.8 \text{ cm}, e_y = 1.92 \text{ cm}$$

ج — المقطع المشترك (المركب)

$$e = \frac{28.0(17.8 - 1.92)}{86.8 + 28.0} = \frac{28.0 \times 15.88}{114.8}$$

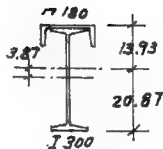
$$= 3.87 \text{ cm}$$

$$I_x = 15700 + 86.8 \times 3.87^2 + 114 + 28.0(15.88 - 3.87)^2$$

$$= 21153 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 674 + 1350 = 2024 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} f_{\max}^- &= \frac{1265000 \times 13.93}{21153} - \\ &\quad \frac{210000 \times 9.0}{2024} \\ &= -833 - 934 \\ &= -1767 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



شكل (١٨١٢)

$$\begin{aligned} f_{\max}^+ &= + \frac{1265000 \times 20.87}{21153} + \\ &\quad \frac{210000 \times 6.85}{2024} = +1248 + 711 \\ &= +1959 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{L_d}{b_t} = \frac{580 \times 34.8}{18.0 \times 7.0} = 160$$

$$f_{pB} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

والجهود العادية بالمقطع تزيد بنحو ٤٠٪ على الجهود المسموح بها .

والسؤال هو : كيف يحدث ذلك ؟

وجوابه هو أن كلا المقطعين في المقطع المركب يتعرض لعزم حني في اتجاه محوره الضعيف الذي يسبب فيه جهوداً أضعافاً لكثير من قدرته رغم تعاون المقطع الآخر معه في مقاومة ذلك العزم .

فلما كانت هذه الطريقة لا تؤدي إلى اختيار مقطع مناسب رأينا اقتراح الطريقة التالية . ورغم أنه ليس من تحليل نظري لهذه الفكرة إلا أنها تقود إلى نتيجة طيبة . ومؤدى هذه الفكرة هو اختيار كل من المقطعين بحيث يحقق شروط السلامة والاستقرار ، نقصد بذلك التحقق من مقاومة الشققة للتحنيب الجانبي والتحنيب الموضعي .

ولنعد الآن إلى المثال السابق .

مثال (١٢-١٠) - اختيار المقطع المركب الموصوف في المثال (١٢-٩) .

أ- اختيار مقطع I مع تحقيق استقرار شفة الضغط :

بعد محاولة وأخرى نجد أن المقطع S.I.B. 380x149 يحقق ذلك ، حيث :

$$\frac{L_d}{b_t} = \frac{580 \times 38.0}{14.9 \times 2.05} = 722$$

$$f_{bB} = \frac{840000}{722} = 1163 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{1265000}{1260} = 1004 \text{ kg/cm}^2$$

ب - اختيار مقطع مجرة مع تحقيق استقرار شفة الضغط . هنا نتفاضي من شرط العمق في الاتجاه الرأسي :

المقطع [240x85] يحقق شرط استقرار شفة الضغط ، حيث :

$$\frac{L_d}{b_t} = \frac{580 \times 24.0}{8.5 \times 1.3} = 1260$$

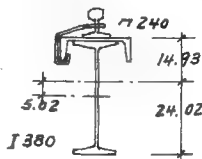
$$f_{pB} = \frac{840000}{1260} = 667 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{210000}{300} = 700 \text{ kg/cm}^2$$

والآن لنجرب المقطع المركب من

[240 S.I.B 380

A cm ²	42.3	107.0
I _x cm ⁴	3600	24,010
I _y cm ⁴	248	975
b cm	14.9	8.5
t _w cm	0.95	1.37



شكل (١٢-١٩)

$$\begin{array}{lll} e \text{ cm} & 2.23 & - \\ Z \text{ cm}^3 & 300 & 1260 \end{array}$$

$$e = \frac{42.3(19.95-2.23)}{107.0+42.3} = \frac{42.3 \times 17.72}{149.3}$$

$$= 5.02 \text{ cm}$$

$$I_x = 24,010 + 107.0 \times 5.02^2 + 248$$

$$+ 42.3(17.72-5.02)^2 = 33,777 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 975 + 3600 = 4575 \text{ cm}^4$$

$$f^- = - \frac{1,265,000 \times 14.93}{33,777} - \frac{210,000 \times 12.0}{4,575}$$

$$= - 559 - 551 = - 1110 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^+ = + \frac{1,265,000 \times 24.02}{33,777} + \frac{210,000 \times 7.45}{4,575}$$

$$= + 900 + 342 = + 1242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580.0 \times 34.95}{24.0 \times 8.5} = 99 < 600$$

$$f_{pB} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

يلاحظ أن الجهد في القطع أقل من المسموح به وربما كان هذا ناشئاً عن أن بالقطعين السابق اختيارهما مقدرة تزيد على المطلوبة وخاصة بالنسبة للقطع I ، وبذلك يمكن إنقاص أي من منصري المقطع المشترك ذي المساحة 149.3 cm^2 :

أ- فإذا أنقصنا المقطع I إلى S.I.B 360 كانت مساحة المقطع المركب 139.4 cm^2 وكانت الجهود القصوى :

$$f^- = 1195 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^+ = 1379 \text{ kg/cm}^2$$

ب - وإذا أنقصنا المقطع المجرة إلى 220] كانت مساحة المقطع المركب 144.4 cm^2 وكانت الجهود القصوى :

$$f^- = 1241 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^+ = 1333 \text{ kg/cm}^2$$

وكلا المقطعين المركبين يمكن استخدام مع ملاحظة أن الأول منهما أوفر قليلا (3.5 %) وجماسته في الاتجاه الأفقي أكثر قليلا (5.9 %) ولكن جماسته في الاتجاه الرأسي أقل كثيرا (14.2 %) . ويتوقف اختيار أي من المقطعين على وضع العضو في المنشأ .

الطريقة الحسابية لاختيار مقطع مركب معرض لعزم حني مزدوج
أولا - المقطع المتماثل حول أحد المحورين :

هنا نشير إلى الصحتين التاليتين :

الأول - أن شدة علاقة - تقريبية - بين معايير مقطع حول محوريه
كما في المعادلة (12-4) :

$$Z_x = K Z_y \quad (12-4)$$

الثاني : أنه يمكن حساب مساحة عنصر تقوية غير متماثل لمقطع I من
المعادلة (12-10) :

$$A_{p1} = \frac{Z_{req} - Z_I}{\frac{h}{2} - \frac{2 Z_{req} - Z_I}{A_I}} \quad (12-10)$$

ولما كانت المعادلة الأولى تحوى معاملا فرضيا واسع المجال هو (K) لا يمكن التكهّن بقيمة الفعلية مسبقا ، وكانت المعادلة الثانية قد شاب استنتاجها بعض التقريب ، إضافة إلى أنها قد استتجبت لمقطع معرض لعزم حني منفرد ، فإنه من المنتظر أن نلجأ إلى أكثر من محاولة للحصول على المقطع المطلوب .

ونبدأ العمل بفرض قيمة للمعامل (K) ثم نحسب من المعادلة (5-12) المعايير الافتراضية Z_x للمقطع I المعرض لمعزم حثي مزدوج .

$$\text{Req. } Z_x = \frac{M_x + K M_y}{f_{pt}} \quad (5-12)$$

ولما كان المقطع I (العادي) في المقطع المركب أقل مقدرة من هذا الذي تعطيه المعادلة (5-12) فإننا نختار للمقطع المركب مقطع I معاينه أصغر .

ثم نستعمل المعادلة (10-12) في إيجاد مساحة العنصر الثاني للمقطع المركب والذي سنعتبره عنصر بقوة غير متماثل للمقطع I المختار .

ونختار العنصر الثاني موفيا شرط المساحة ، ثم نحقق الجهد في المقطع المركب « وحاد الحسابات » بتمديد أي من المقطعين المختارين للحصول على نتيجة مقبولة .

والآن نعيد حل المثال (١٢-٨) بهذه الطريقة مع دراسة العوامل التي تؤثر على اختيار المقاطع .

مثال (١٢-١١) - المطلوب اختيار المقطع المركب الموصوف في المثال (١٢-٨) .

لاختيار المعامل (K) ، نلاحظ أن المقطع المركب أقرب إلى المقطع I معرض الشفة منه إلى المقطع I العادي وبذلك نختار $K=4$ ومنها نحصل على المعايير الافتراضية للمقطع المشترك :

$$\text{Req. } Z_x = \frac{1,265,000 + 4 \times 210,000}{1400} = 1504 \text{ cm}^3$$

S.I.B. 380: لنجرب

$$Z_I = 1260 \text{ cm}^3, \quad A_I = 107.0 \text{ cm}^2$$

والمساحة المطلوبة للعنصر الثاني :

$$A_{p1} = \frac{1504 - 1260}{19.0 - \frac{3008-1260}{107}} = 90.3 \text{ cm}^2$$

وبذلك تكون المساحة الكلية 197.3 cm^2

S.I.B. 400: ولنجرب

$$Z_I = 1460 \text{ cm}^3, \quad A_I = 118.0 \text{ cm}^2$$

والمساحة المطلوبة للعنصر الثاني :

$$A_{p1} = \frac{1504 - 1460}{20.0 - \frac{3008-1460}{118}} = 6.3 \text{ cm}^2$$

وبذلك تكون المساحة الكلية 124.3 cm^2

توضح هاتان المحاولتان أنه إضافة إلى أن اختيار المقطع المركب يتوقف على قيمة (K) فإن اختيار عنصر المقطع يتأثر بالمقطع I المختار .

وقد يبدو في هذا المثال أن كلا الاختيارين غير موفق فإن الفرق كبير في المساحة المطلوبة للعنصر الثاني وبالتالي للمقطع المركب .

ولزيادة الإيضاح أجريت محاولات أخرى أدرجت نتائجها في الجدول (١٢-٤) الذي يبين تغير المساحة المطلوبة لعنصر التقوية تبعاً لتغير كل من قيمة K والمقطع I المختار - عن طريق المعادلة (10-12) .

- (١) القيمة سالبة - تعني أن المقطع I غير صالح .
 (٢) القيمة سالبة - ناشئة عن أن $Z_{req} > Z_I$ أي أن المقطع I أكبر مما يلزم ولكن (K) هنا لا تناسب المقطع I العادي .
 (٣) المقطع المناسب هنا هو المقطع I عرض الشفة . ويلزمنا
 144.0 cm^2 ومساحته B.F.I280
 (٤) يراعى في اختيار المقطع المجرة. أن يكون العمق الداخلي للجدع أكبر من عرض شفة المقطع I . وعلى هذا فإن هذه المساحة غير كافية .

- (٥) هذه القيمة غاية في الكبر فهي غير معقولة .
 (٦) هذه القيمة غير مقبولة بالمقارنة بنظيرتها للمقطع I الأصغر .
 (٧) من هذه الملاحظات يتبين أنه قد أمكن حصر المقطع المركب في أحد التجميعين التاليين :

- المقطع رقم ب : $300 \leq I \leq 360$ ومساحته 155.9 cm^2

- المقطع رقم د : $240 \leq I \leq 380$ ومساحته 149.3 cm^2

ومن هنا نبدأ في تحقيق الجهود في أيٍّ منها ، ونعاد الحسابات للحصول على المقطع اللائم من وجهة الجهود و/أو من الوجهة الاقتصادية .

وقد سبق وتبين من المثال (١٢ - ١٠) أن المقطع المطلوب هو أحد الاختيارين $240 \leq I \leq 360$ أو $220 \leq I \leq 380$.

ثانياً - المقطع المركب غير المتماثل :

يشيع استعمال المقطع غير المتماثل المكون من مقطع I (غالباً العادي) ومقطع مجرة لكثرة الارتفاع العلوي للسيار (Overhead travelling crane) ، حيث تتعرض تلك الكثرة لقوى أفقية جانبية صاحبة للأحمال الرأسية . وتؤثر القوى الأفقية في النقط نفسها التي تؤثر فيها الأحمال الرأسية ، وبذلك يحدث مزج الحضي الأتشي الناشئ عن كلٍّ من الأحمال الرأسية والقوى الأفقية في مقطع

واحد من الكرة •

وغالبا ما يثبت القضيب الذي

يسير عليه الرفاع من طريق

سامير سنارة لا يقل قطرها

عن ٢٠ مم ، توضع مترنحة ،

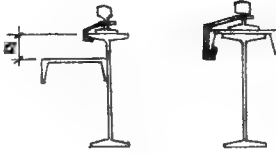
حول شفة المقطع I حتى

يمكن ضبط استقامة القضيب

استقامة تامة ، ومن هنا

جا* فضيل المقطع غير

المتماثل على المقطع



شكل (١٢-٢٠)

المتماثل الذي يتطلب سامير أطول وأكثر تعقيدا (شكل ١٢-٢٠) •

ويلحق المقطع المجرة الذي يركب على بطنه عموديا على المقطع

I ، أقرب ما يمكن إلى شفته العليا وبحيث يسمح بتركيب تلك

السامير • وذلك تتوقف المسافة (a) على سمك شفة المقطع I •

وقطر المسار السنارة • وتحديد هذه المسافة مسبقا ضروري لحساب

خصائص المقطع المركب •

وللمقطع المجرة أغراض ثلاثة :

أ - مقاومة القوى الأفقية الجانبية التي تتعرض لها الكرة •

ب - زيادة عرض شفة الضغط بحيث يصبح المقطع المركب أكثر مقدرة

على مقاومة التحنيب الجانبي للكرة •

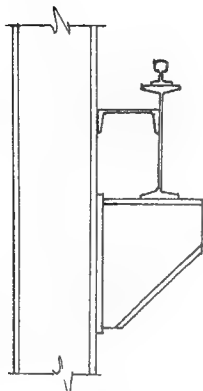
ج - سهولة ربط الكرة جانبيا بالعمود الحامل لنقل القوى الأفقية

الجانبية إليه (شكل ١٢-٢١) •

ولاختيار مقطع مركب غير متماثل لمقاومة عزم حني مزدوج تستخدم

الطريقة نفسها التي اختير بها المقطع المركب المتماثل • إلا أن تحقيق

الجهود هنا يقتضي حسابات أكثر طولا ، سوا* لإيجاد خصائص المقطع



شكل (١٢-٢١)

المركب أم لحساب الجهد
الفعلي حيث نستعمل لذلك
المعادلة (11-12)
وهنا تجدر الإشارة إلى النقاط
الآتية :

— أن المحورين الرئيسيين
للقطع المركب غير
المتعامل يميلان على
المحاور الرئيسية للعناصر
التي يتكون منها القطع
(المعادلة 12-12)
— أنه لما كانت معادلة حساب
الجهد الفعلي (11-12)

تحتوي حدين يشتمل كل
منهما على المزمين المؤثرين

M_x و M_y ، ولما كان من

المعتاد أن تكون إشارة أحد المزمين منعكسة (على الأغلب M_y) ،
كان من اللازم مراعاة إشارة كل من المزمين عند استعمال المعادلة
المشار إليها . وقد سبق أن أوضحنا أن إشارة المزم تعتبر سالبة
إذا أحدثت جهود ضغط في جزء القطع الواقع في الربع الأول من
الإحداثيات الأصلية .

مثال (١٢-١٢) . المطلوب اختيار قطع مركب من مقطع I عادي
يجاوره من أعلاه مقطع مجرة على بطنه، للكرة ليقاوم مزم حسي
 $M_x = 12.65 \text{ tm}$ ومزم حسي منعكس $M_y = 2.10 \text{ tm}$ يؤثران في
مقطع واحد من كرة بحرهما 5.80 m .
هذه هي نفس المسألة في المثال (١٢-١١) ، وبذلك يكون عنصرا

المقطع اللّازمين هما نفسيهما اللّذين سبق اختيارهما • والآن نتحقق من
الجهود الفعلية في المقطع الجديد •

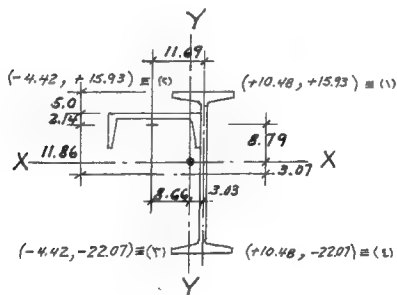
أ - خصائص المقطع :

	[220	I 380
A (cm ²)	37.4	107.0
I _x (cm ⁴)	2690	24,010
I _y (cm ⁴)	197	975
t _w (cm)		1.37
e _y (cm)	2.14	

$$\Sigma A = 144.4 \text{ cm}^2$$

$$e_v = \frac{37.4 \times 11.86}{144.4} = 3.07 \text{ cm}$$

$$e_h = \frac{37.4 \times 11.69}{144.4} = 3.03 \text{ cm}$$



شكل (٢٢-١٢)

$$I_x = 24010 + 107.0 \times 3.07^2 + 197 + 37.4 \times 8.79^2$$

$$= 28105 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 975 + 107.0 \times 3.03^2 + 2690 + 37.4 \times 8.66^2$$

$$= 7448 \text{ cm}^4$$

$$I_{xy} = 107.0 \times -3.07 \times 3.03 + 37.4 \times 8.79 \times -8.66$$

$$= -3845 \text{ cm}^4$$

: ميل المحور الرئيسي ، من المعادلة (12-12)

$$\tan 2\alpha = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x} \quad (12-12)$$

$$= \frac{2 \times -3845}{7448 - 28105} = \frac{-7690}{-20657}$$

$$= .373$$

$$2\alpha = 20.5^\circ \quad \alpha = 10^\circ 15'$$

ب - تحقيق الجهود باستخدام المعادلة (12-11):

$$f_{act} = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot y + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \cdot x$$

(12-11)

الحالة الأولى - العزم M_x سالب والعزم M_y موجب :

$$f_{act} = \frac{-1,265,000 \times 7,448 - 210,000 \times -3,845}{28,105 \times 7,448 - (-3,845)^2} \cdot y$$

$$+ \frac{210,000 \times 28,105 - (-1,265,000) \times (-3845)}{28,105 \times 7,448 - (-3,845)^2} \cdot x$$

$$f_{act} = -44.28 y + 5.34 x \quad (a)$$

معادلة المحور المحايد، نحصل عليها بـ مساواة المعادلة (a) بالصفر:

$$y = 0.12 x \quad (b)$$

(هذه المعادلة ضرورية لتحديد ميل المحور المحايد ، ومنه تمعرف
النقط الحرجة في المقطع)
الجهود الفعلية القصوى عند النقطتين (٢) ، (٤) وإحداثياتهما
: (y , x)

$$(+ 15.93 , -4.42) \quad (٢)$$

$$(- 22.07 , +10.48) \quad (٤)$$

$$f_2 = -44.28 \times 15.93 + 5.34 \times -4.42 \\ = -705 - 24 = -729 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_4 = -44.28 \times -22.07 + 5.34 \times 10.48 \\ = 977 + 56 = + 1033 \text{ kg/cm}^2$$

الحالة الثانية - العزم M_x سالب والعزم M_y سالب :

$$f_{act} = \frac{(-1,265,000)(7,448) - (-210,000)(-3845)}{28,105 \times 7448 - (-3,845)^2} \cdot y \\ + \frac{(-210,000)(28,105) - (-1,265,000)(-3845)}{28,105 \times 7448 - (-3,845)^2} \cdot x$$

$$f_{act} = -52.28 y - 55.34 x \quad (c)$$

معادلة المحور المحايد :

$$y = -1.05 x$$

الجهود الفعلية القصوى عند النقطتين (١) ، (٣) وإحداثياتهما
: (y , x)

$$(+15.93 , +10.48) \quad (١)$$

$$(-22.07 , -4.42) \quad (٣)$$

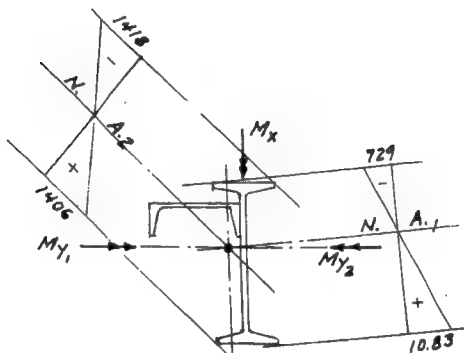
$$f_1 = -52.28 \times 15.93 - 55.34 \times 10.48 \\ = -838 - 580 = -1418 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_3 = -52.28 \times -22.07 - 55.34 \times -4.42$$

$$= +1161 + 245 = +1406 \text{ kg/cm}^2$$

لها تان القيمتان يمكن قبولهما)

ويوضح شكل (٢٣-١٢) الجهود الفعلية في المقطع في كلتي الحالتين .



شكل (٢٣-١٢)

ج- مقارنة الجهود في المقطع غير المتماثل بنظيراتها في المقطع المتماثل



I380
-220
(A=144.4cm²)



	(أ)	(ب)
$I_x \text{ (cm}^4\text{)}$	32,948	28,105
$I_y \text{ (cm}^4\text{)}$	2,690	7,448
$f^- \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\frac{-611}{-630} = -1241$	$\frac{-838}{-580} = -1418$
$f^+ \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\frac{+906}{+427} = +1333$	$\frac{+1161}{+245} = +1406$

— الواضح من شكل المقطعين ومن قيم عزوم العطالة لكل منهما أن (أ) أكثر جساءة في الاتجاه الرأسي وأن (ب) أكثر جساءة في الاتجاه الأفقي . وقد ظهر أثر هذا في قيم الجهود الناشئة عن M_x و M_y — إن المقطع (أ) أكثر قدرة من المقطع (ب) ، إلا أن الأخير — بفضل من الوجهة العملية ، كما سبق أن أوضحنا في مقدمة هذا المثال .

اختيار مقطع ملحوم على شكل I ، غير متماثل :
خطوات العمل هنا هي نفسها التي اتبعناها لاختيار المقطع المركب غير المتماثل ، مع بعض ما يقتضيه اختيار مقطع مبني من نقاط إضافية .

أ — نحسب المعايير الانترازي للمقطع من المعادلة (12-5) :

$$Z_{req} = \frac{Z_x + K Z_y}{f_{pt}} \quad (12-5)$$

ب — نختار مقطعا بصفة مبدئية بحيث يكون متماثلا وعلى شكل I ، ويكون معايره أقل مما حسب من المعادلة (12-5) بما هو بين ٥% و ١٠% . وهناك مجال واسع للاختيار ، الذي يبدأ بعمق الجذع ، ويحسب سمكه بحيث يفي بشرط الاستقرار ، وتختار الشفتان بحيث يكون معاير مقطعهما نحو ٧٥% من معاير المقطع المحسوب .
ومنه ومن عقب الجذع تحسب مساحة الشفتين .

- د - تحسب المساحة الإضافية لشفة الضغط باعتبارها عتوية للمقطع
المحسوب في (ب) من المعادلة (12-10) • ويختار عرض الشفة
وسكها بحيث يراعى استقرارها •
د - تحقق الجهود في المقطع المختار •

مثال (١٢-١٣) - المطلوب اختيار مقطع مبني ملحوم علي شكل I
للكرمة في المثال (١٢-٩) ، التي بحررها 5.80m ويؤثر عليها عزم
حني $M_x = 12.65 \text{ tm}$ يصاحبه عزم حني $M_y = 2.10 \text{ tm}$.
أ - نختار النسبة بين معايير مقطع الكرمة :

$$K = 4$$

ب - المعايير Z_x المطلوب للمقطع باعتباره متجانسا :

$$Z_{req} = \frac{12650 + 4 \times 210}{1400} \times 100 = 1350 \text{ cm}^3$$

ج - المقطع المبدئي :

معايير المقطع للوحي الشفة :

$$Z' = 0.75 \times 1350 = 994 \text{ cm}^3$$

نأخذ : $t_w = 10 \text{ mm}$, $h_w = 40 \text{ cm}$

$$A_{p1} \sim \frac{994}{2 \times 20} = 24.8 \text{ cm}^2$$

$$A_{p1} = 25.2 \text{ cm}^2$$

$$40.0 \times 1.0 + 2 \times 25.2 = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$I_I = \frac{1.0 \times 40.0^3}{12} + 2 \times 25.2 \times 20.7^2 = 20,930 \text{ cm}^4$$

$$Z_I = \frac{20,930}{21.5} = 1258 \text{ cm}^3$$

د - المقطع غير المتماثل :

مساحة "لوح التقوية" من المعادلة (10-12)

$$A_{p1} \approx \frac{1325 - 1258}{21.6 - \frac{2650-1258}{90.4}} = 10.8 \text{ cm}^2$$

مساحة شفة الضغط : $A_{p1}^C = 25.2 + 10.8 = 36.0 \text{ cm}^2$
 لدراسة ارتباط مقاس لوح الضغط بالجهد المسموح به في ذلك اللوح :
 لو أخذنا شفة الضغط 260×14 ومساحتها 36.4 cm^2 ، فإن

$$\frac{L_d}{b_t} = \frac{580 \times 42.8}{26.0 \times 1.4} = 677$$

$$f_{pb} = \frac{840000}{677} = 1240 \text{ kg/cm}^2$$

أي أن المقطع غير كاف .

إذاً فلنختار عرضاً يحقق الجهد الأقصى المسموح به :

$$b_{min} = \frac{580 \times 42.8}{600 \times 1.4} = 30.0 \text{ cm}$$

نختار اللوح 300×14 (السك يحقق شرط الاستقرار :

$$\left(\frac{15}{1.4} < 15 \right)$$

وبذلك يكون المقطع كونا من :

$$40.0 \times 1.0 = 40.0 \text{ cm}^2 \quad \text{الجزع}$$

$$30.0 \times 1.4 = 42.0 \text{ cm}^2 \quad \text{الشفة العليا}$$

$$18.0 \times 1.4 = 25.2 \text{ cm}^2 \quad \text{الشفة السفلى}$$

$$\underline{107.4 \text{ cm}^2} \quad \text{المساحة الكلية}$$

$$e = \frac{(42.0 - 25.2) \times 20.7}{107.4} = 3.24 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{1.0 \times 40.0^3}{12} + (42.0 + 25.2) \times 20.7^2 - 107.4 \times 3.24^2 = 33,000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{1.4 \times 30.0^3}{12} + \frac{1.4 \times 18.0^3}{12} = 4,217 \text{ cm}^4$$

$$f_{act} = \frac{-1265000}{33000} \cdot y + \frac{-210000}{4217} \cdot x$$

$$= -38.33 y - 49.8 x$$

$$y = -1.3 x$$

(b) • معادلة المحاور المحايدة

يلاحظ هنا أننا اعتبرنا M_y سالبة ، فإذا اعتبرناها

موجبة أصبحت معادلة المحور

المحايد $y = 1.3x$ ففسي

الحالة الأولى يكون الجهد

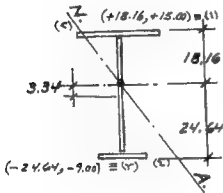
الأقصى عند النقطتين (١) و

(٣) وفي الحالة الثانية

يكون عند النقطتين (٢) و

(٤) (شكل ١٢-٢٤)، ويكون

له القيم نفسها •



شكل (١٢-٢٤)

• جهد الضغط الأقصى عند النقطة (١) وإحداثياتها
(18.16, 15.0)

$$f^- = -38.33 \times 18.16 - 49.5 \times 15.0$$

$$= -696 - 747 = -1443 \text{ kg/cm}^2$$

• جهد الشد الأقصى عند النقطة (٣) وإحداثياتها (-24.64, -9.0)

$$f^+ = (-38.33)(-24.64) - (747)(-9.0)$$

$$= +934 + 448 = +1382 \text{ kg/cm}^2$$

يزيد جهد الضغط هنا بنحو 3% عن الجهد المسموح به، فإذا رُوي عدم التجاوز عن هذه الزيادة فإنه يمكن خفض هذا الجهد بزيادة شفة

الضغط، فإذا زيد عرض الشفة إلى 32.0 cm أصبحت مساحة المقطع 110.0 cm^2 وأصبحت الجهود كما يلي :

$$f_{\max}^{-} = -1329 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\max}^{+} = +1297 \text{ kg/cm}^2$$

أي أنه بزيادة المادة بنحو 2.4% نحقق خففا في الجهد الفعلي بنحو 8% .

الفصل الثالث عشر

الإطارات الجسيمة (Rigid Frames)

١٣-١ : الإطار الجسيء تركيب إنشائي مكون من أعمدة وكمرات حيث تتصل الكمرات بالأعمدة اتصالاً جسيماً لا يسمح بأن تتغير الزاوية بين تلك الأعضاء عند نقط الاتصال بمعنى أن محاور الأعضاء المتقابلة تظل مماسة لتلك المحاور بعد حدوث التشوهات بها . ويقتضي هذا أن تنتقل عند نقط الاتصال عزوم الخني وغيرها من مسببات الجهد من الكمرات إلى الأعمدة و/أو من الأعمدة إلى الكمرات .

١٣-٢ : وليس من إطار إلا وهو غير محدد

استاتيكيّاً ، ما لم يحتو في داخله على مفاصل بعدد

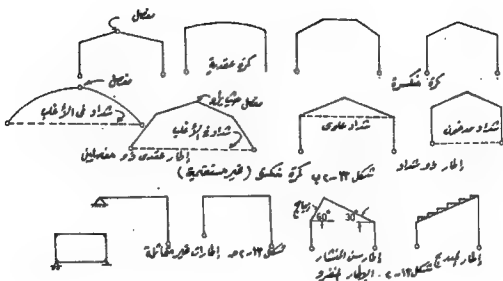
شكل ١٣-١

مرات عدم التحديد .

فالإطار المنفرد ذو المفصلين (Single 2-hinged frame) وهو أكثر الإطارات شيوعاً وأبسطها حساباً وإنشاءً ، هو غير محدد مرة واحدة . فإذا أضيف مفصل داخلي أصبح إطاراً ذا ثلاثة مفاصل ، وهو محدد استاتيكيّاً .



١٣-٢ أ : كمرة أفقية



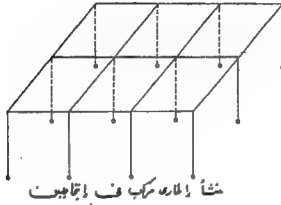
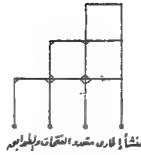
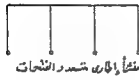
شكل ١٣ - ٢

والإطار ذو الكمرة الأفقية قليل الاستعمال إذ أنه لاعتبارات عملية مثل تصريف مياه الأمطار أو لاعتبارات معمارية يغلب أن يكون الوتر العلوي للكمرة منكسراً في نقطة أو أكثر ، أو يكون الوتر العلوي مقوساً ، على هيئة عقد . كما قد تكون كمرة الإطار غير أفقية أو لا تكون قاعدتا العمودين على خط أفقي ، وعندئذ لا يتأهل العمودان .

وقد تصل فتحة الإطار إلى ٦٠ متراً أو تزيد عندما يُطلب أن تكون المساحة المفظة خالية من الأعمدة .

٣-١٣ : الإطارات المركبة :

قد تتعدد فتحات الإطار (Multi-span frame) وتكون لكمرائه استمرارية سواء أكانت مستقيمة أم منكسرة . كما قد تتعدد طوابق و/أو فتحات الإطار (Multi-storey frame) .



شكل ١٣-٣

ولا يشترط في الإطارات المركبة أن تتساوى فتحات الإطارات أو تتساوى ارتفاعات الطوابق . والمتنظر أنه كلما تعددت الفتحات أو تعددت الطوابق كلما اقتضى ذلك زيادة غير متناسبة في الحسابات الاستاتيكية . وقد سهّلت طرق حسابية مثل توزيع العزوم (Moment Distribution) ومناظرة الأعمدة (Column Analogy) من هذه الحسابات .

وتأتي في النهاية الحسابات الألكترونية التي قد بذت كل هذه الطرق وأصبح حل الإطارات المركبة من السهولة بمكان . كما وأن استخدام التحليل اللدن للمنشآت يقلل الحسابات الاستاتيكية بدرجة كبيرة (إضافة إلى الوفرة الذي قد يحدث في مادة الإطار) .

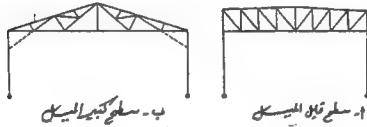
١٣-٤ : يمكن تقسيم الإطارات « الجسيئة » إلى طرازين :

١ - طراز الإطار شبه الموثوق :

وفيه تكون الكمرة عبارة عن جمالون يحمله عمودان ، ويمكن تمييز حالتين لهذا الطراز :

(أ) أن يكون الجمالون من الطراز المتوازي الوترين وعندئذ يمتد العمود ليحل محل القائم الأول في الجمالون (شكل ١٣-٤ أ) .

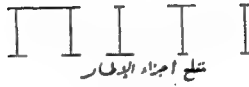
(ب) أن يكون الوتر العلوي للجمالون كبير الميل (طراز Fink مثلاً) وأن يتقابل الوتران عند العمود . ويفضل في هذا الطراز أن تزود كل من نهايتي الجمالون برُكبة (Knee) تجعل من الوصلة بين العمود والجمالون وصلة جسيئة إضافة إلى أنها تساعد على تقليل العزوم على العمود (شكل ١٣-٤ ب) .



شكل ١٣-٤ الإطار شبه الموثوق

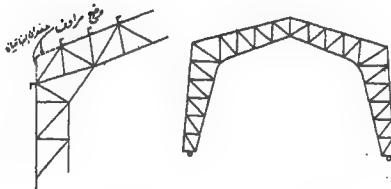
٢ - طراز الإطار :

وفيه قطاع كل من الكمرة والعمودين الحاملين لها من نفس النظام مع استمرار المقطع عند تقابل الكمرة والعمودين ، ومن هذا الطراز صنفان :
(أ) صنف فيه مقطع كل من الكمرة والعمودين على شكل I ، إما جاهزاً وإما مبنياً ، وحيد الجذع أو مزدوج الجذع ، ويستخدم اللحام في وصل أجزاء الكمرة ، إلا عند لأمانات الموقع حيث تتركب بمسامير قلاووظ محكمة .
والأول منها أثقل في المادة لمستعملة ولكنه أقل في تكلفة التشغيل .



شكا ١٣-٥

والمعتاد أن تكون الكمرة منكسرة في نقطة أو أكثر وأن تكون متوازية الشفتين . ونظراً لقلّة تكلفة تشغيل الصلب وتركيبه في هذا الطراز فقد عم استخدامه في المباني الصناعية وخاصة المباني ذات الصناعات الخفيفة أو المخازن .
(ب) صنف فيه كل من الكمرة والعمودين من النظام الشبكي (شكل ١٣-٦) .



شكل ١٣ - ٦ الإطار الشبكي

وقد أنشئت على مثل هذا الطراز سقيفة محطة سكة الحديد بكل من القاهرة والإسكندرية ، والإطار فيها ثلاثي المفاصل وعناصره موصولة بالبراشيم وسقيفة محطة السد العالي ، والإطار فيها ذو مفصلين وعناصره من الطراز الملحوم . (فتحة كل من هذه الإطارات ٣٠ متراً وتباعدها ١٠ أمتار) .

وفي المباني الصناعية يكثر أن يكون الوتر السفلي أفقياً حيث يعلق منه مرفاع أو أكثر وحيد القضيب ، كما قد تتسع الفراغات في الجمالون لمروور أنابيب المواد أو مجاري تكييف الهواء .

وقد تحمل الأعمدة أوناشاً علوية سيارة (Overhead travelling cranes) . ويسمى الونش على كمرتي ونش ترتكز كل منهما على كابولات تحملها أعمدة الإطارات أو ترتكز على أعمدة إضافية تتصل بأعمدة الإطارات وتصبح عنصراً من عناصر الإطارات .

١٣-٥ : لارتكاز العمود على قاعدته ثلاث حالات :

١٣-٥-١ : القاعدة المفصليّة (Hinged base) :

وتنتقل عن طريقها الأحمال والقوى الرأسية والأفقية إلى الأساس (القاعدة الخرسانية) . ولا ينتقل إلى القاعدة عزم حتى وإذا كانت قاعدة كل من عمودي الإطار مفصليّة سُمي إطاراً ذا مفصلين (Two-hinged Frame) وإذا زوّد ذلك الإطار بمفصل داخلي في الكمرة سُمي الإطار ثلاثي المفاصل (Tree-hinged Frame) والأغلب أن يكون المفصل الثالث في منتصف الكمرة أو عند انكسارها .



الإطار ثلاثي المفاصل

شكل ١٣ - ٧

والإطار ذو المفصلين غير محدد استاتيكيًا مرة واحدة أما ثلاثي المفصل فهو محدد استاتيكيًا ، وفي كل من الحالتين تتعرض القاعدة لقوة رفس أفقية .

١٣-٥-٢ : القاعدة الموثوقة (Fixed base) :

إذا ثبتت قاعدة كل من العمودين أي إذا منعت من الدوران سمي الإطار موثوقاً (Fixed frame) . وهذا الإطار غير محدد استاتيكيًا ثلاث مرات وقد يزود الإطار الموثوق بمفصل عند اتصال الكمرة بالعمود أو عند انكسارها مما يقلل من الحسابات الاستاتيكية .



الإطار الموثوق

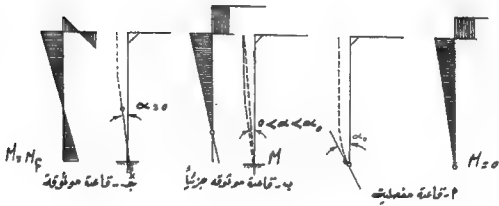
شكل ١٣ - ٨

وتتعرض القاعدة الموثوقة لعزم حتى ، إضافة إلى الأحمال والقوى الرأسية وإلى القوى الأفقية وإلى غيرها من مسببات الجهد ، مثل عزم الحني الخارجية والتغيرات الحرارية وانكماش الخرسانة .

وليس من المتيسر أن تكون قاعدة العمود موثوقة تماماً فهي عرضة للدوران عند مرتكزها على الأساس الخرساني ؛ وهي عرضة للدوران بسبب دوران الأساس الخرساني عند مرتكزة على التربة . وبسبب هذا الدوران لا ينشأ عند قاعدة العمود عزم الحني المحسوب بوصفها قاعدة موثوقة ومن هنا جاء تعبير القاعدة الموثوقة جزئياً .

١٣-٥-٣ . القاعدة الموثوقة جزئياً (Partially-Fixed base)

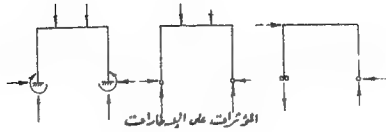
يمكن تعريف القاعدة الموثوقة جزئياً بأنها القاعدة التي لا يتيسر فيها التثبيت الكامل بسبب ظروف ارتكازها على الأساس الخرساني وظروف ارتكاز الأساس الخرساني على التربة . وهنا يحدث بها أو يتركز العمود دوران يقلل من مقدار عزم التثبيت (شكل ١٣ - ٩)



شكل ١٣ - ٩ قواعد أعمدة الإطارات

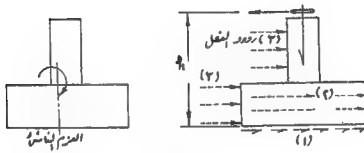
١٣-٥-٣ . ويس من نيسر حساب تأثير كل من العوامل التي تسبب دوران القاعدة على الحسابات الاستاتيكية للإطار . فبعض هذه العوامل ينشأ عند القاعدة نفسها وأكثرها ينشأ عند مرتكز الأساس على التربة ، والمتغيرات فيها كثيرة .

١٣-٥-٣ ب : ومن القوى الأساسية التي تتعرض لها القاعدة ، القوة الأفقية . وتشارك جميع الإطارات . أي كانت طبيعة مرتكزاتها في أن قواعدهما تتعرض لقوى أفقية غير هيئة ، إضافة إلى الأحمال والقوى الرأسية و (عزوم الحني) .



شكل ١٣ - ١٠ المؤثرات على الإطارات

وتنتقل القوة الأفقية من قاعدة العمود إلى الأساس عن طريق الاحتكاك بينهما فإذا كانت مقاومة الاحتكاك غير مأمونة انتقلت القوة عن طريق مقاومة مسامير الإرساء للقص .



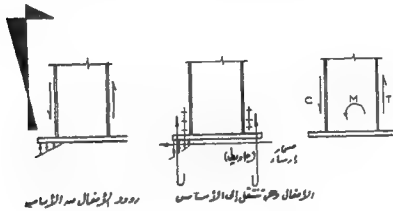
شكل ١٣ - ١١

وتنتقل القوة الأفقية من الأساس إلى التربة بطرق ثلاثة :
الأول : أسفل الأساس بوصفها قوة قص في التربة وهي ما اصطلح على تسميتها الاحتكاك بين الأساس والتربة .

والثاني : « الاحتكاك » على جانبي الأساس الموازيين لاتجاه القوة .
والثالث : ضغط التربة المقاوم على جانب الأساس العمودي على اتجاه القوة .
وجميع هذه القوى المقاومة لا تعمل إلا إذا بدأ الأساس في التحرك إضافة إلى أن الطريقتين الأخيرتين لا يعملان إلا إذا كان الردم قد اعتنى بدكته حول الأساس .

ومن هنا يفضل أن يزود الإطار بشداد يقاوم القوة الأفقية . وقد يكون هذا الشداد في مستوى القاعدة أي يكون من الصلب وعندئذ يجب الاحتياط ضد الصدأ كأن يدهن بالبيتومين المؤكسد ويلف عليه خيش مقطرون . أو يحاط بغلاف من الخرسانة ، وقد يكون الشداد في مستوى رقبة العمود حيث يُعمل من الخرسانة المسلحة ويفضل في هذه الحالة أن يحْمَل على عدة مساند (قواعد) لمقاومة الترخيم وما يسببه من تشقق يؤدي إلى صدأ أسياخ التسليح .

وبفرض انتقال القوة الأفقية كلية إلى أسفل الأساس فإنه يصاحبها عزم حني مقداره : $M_F = H \cdot h$. فإذا زودت القاعدة بشداد أمكن افتراض عدم حدوث عزم الحني . ويلاحظ هنا أننا أهملنا ما يحدث من استطالة في الشداد ، نتيجة القوة التي تنتقل إليه وهذه الاستطالة ، وإن كانت إجهاداً ثانوياً ، إلا أنها تعني أن جزءاً من القوة الأفقية لازال يؤثر على القاعدة ، وإن كان هذا الجزء قوة ثانوية ، عادة ما تحمل حين يفترض أن التربة الملاصقة للشداد تقاوم تلك القوة .



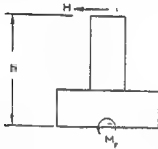
المؤثرات على قاعدة العمود

شكل ١٣ - ١٢

١٣-٥-٣ ج : عزم الحني عند القاعدة : يمكن مساواة عزم الحني الذي يؤثر عند قاعدة العمود بقوتين رأسيين متساويتين متضادتين عند وجهي العمود . كما نفترض أن العزم نفسه قد تحمل إلى قوتين : قوة شد في مسامير الإرساء وقوة ضاغطة عند الطرف الآخر من لوح القاعدة . وقد سبق أن افترضنا أنها تعمل عند

مسمار الإرساء وبذلك ينتقل العزم إلى الأساس حيث يؤثر على التربة . ويتوقف توزيع الجهود على سطح التربة الملامس للقاعدة الخرسانية على قيمة العزم وعلى ما يتعرض له الأساس من أحمال وقوى مضافاً إليها وزن الأساس (وما قد يحمله من أترية) وعلى ما يتعرض له من عزوم حني أخرى سواء أكانت ناشئة عن أحمال رئيسية و/أو عن أحمال ثانوية .

وقد تكون بعض القوى الرأسية قوى نازعة وقد يكون لعزم الحني تأثير نازع عند أحد طرفي الأساس إذا تغلبت جهود الشد الناشئة عن العزم وعن القوى النازعة على جهود الضغط الناشئة عن الأحمال والقوى الرأسية . ويلاحظ هنا أن عزم الحني عند القاعدة عبارة عن مجموع العزوم : عزم الوثاق للإطار الناشئ عن القوى الرأسية على الكمرة الأفقية ؛ وعن القوى



الرأسية غير المتمركزة على العمود وتشمل ما يؤثر على القاعدة من قوى المرفاع وأوزان الحوائط (ما كان منها محملاً على العمود) ؛ وعن ضغط الرياح الأفقي على المستوى الرأسي .

وتؤثر القوتان الرأسيتان اللتان يتحلل إليهما العزم على مسماري الإرساء وبهنا منها هنا القوة النازعة التي يضاف إليها ما قد تتعرض له القاعدة من قوى فعلية أخرى نازعة حيث ينتظر أن تحدث بالمسمار ناحية تلك القوة استطالة بينما تكون خرسانة الأساس في الجانب الآخر من القاعدة عرضة للإنكماش بتأثير القوى الضاغطة . فإذا أضفنا إلى ذلك ما قد يحدث للوح القاعدة من تشوهات نتيجة هذه القوى نجد أن القاعدة عرضة للدوران .

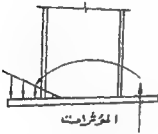
وتنتقل كل هذه العزوم إلى الأساس حيث يضاف إليها العزم الناشئ عن الرفسة الأفقية للإطار (ما لم يكون مزوداً بشداد) . كما أن المعتاد أن يكون الأساس غير متحرك مع قاعدة العمود (لغرض محاولة أن يكون توزيع الجهود على التربة تحت

الأساس متناسقاً على قدر الإمكان) وعندئذ يكون لوزن الأساس تأثير على توزيع الجهود على التربة .

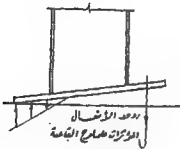
١٣-٥-٣ د : تأثير العزوم على القاعدة : لما كان العزم على القاعدة يتحلل إلى قوة نازعة عند أحد جانبي القاعدة تقاومها مسامير الإرساء التي تصبح معرضة للشد وإلى جهود ضغط على الأساس الخرساني سواء على القاعدة الخرسانية أو على رقبة العمود .

وفي الحديث عن القوة النازعة يجب دراسة جميع القوى المؤثرة على القاعدة سواء كانت قوى رأسية ضاغطة أم كانت قوى نازعة . أو كانت القوى أفقية وغالباً ما تكون هذه الأخيرة قوى منعكسة مما يعني أن لها دائماً تأثيراً نازعاً عند أحد صفتي مسامير الإرساء وتأثير هذه القوى الأفقية داخل ضمن حساب عزم الحني على القاعدة وإنما نكرره هنا تأكيداً لما لهذه القوة من أهمية في تأثيرها على قاعدة العمود وعلى القاعدة الخرسانية وعلى التربة .

وعلى هذا فنحن ندرس أقصى ما يمكن أن تصل إليه القوة النازعة والتي تحدد ما يلزم من مسامير الإرساء ، مقاسها وعددها .



وتنتقل قوة الشد من القاعدة إلى مسامير الإرساء ويصبح طرف القاعدة هنالك عرضة للتحرك إلى أعلا نتيجة الإجهاد الحادث في مسامير الإرساء . وإذا لم يكن لوح القاعدة جسيماً فسوف يحدث به إجهاد كما في شكل (١٣-١٣-س) والإدار في اتجاه العزم المؤثر ودار منه أسفل العمود . كما في شكل (١٣-١٣-ص) وقد يمكن التغلب على هذا الدوران بمنع مسامير الإرساء من الاستطالة وذلك بإجهادها مسبقاً بقوة لا تقل عن قوة الشد ، بل يفضل أن تزيد عنها بمقدار ٢٠٪ بصفة معامل أمان .

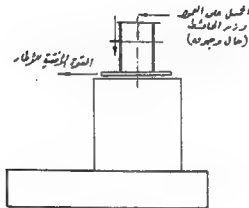


شكل ١٣ - ١٣

- وتجدر ملاحظة أن قوة الشد الناشئة عن العزم تتأثر بما يلي :
- (أ) يضاف إليها أية قوة شد أخرى ناشئة عن الأحمال أو القوى الخارجية النازعة .
- (ب) ينقص منها تأثير القوى الضاغطة الناشئة عن الأحمال والقوى الخارجية .

١٣-٥-٣ هـ : تأثير العزوم على الأساس :

- ينتقل عزم الوثاقة (M_p) بأكمله إلى مستوى التأسيس ، بصفة قوتين رأسيين متساويتين متضادتين افترضنا مسبقاً تأثيرهما عند مواقع مسامير الإرساء .
- تُحدث القوة الأفقية التي تؤثر عند مستوى القاعدة عزم حني M_H على مستوى التأسيس يضاف إلى عزم الوثاقة أو ينقص منه بحسب اتجاه القوة الأفقية .



شكل ١٣ - ١٤

- يضاف تأثير أية أحمال رأسية تنتقل إلى الأساس مباشرة وليس عن طريق العمود . بما في ذلك وزن رقبة العمود ووزن الأساس الخرسانيين .

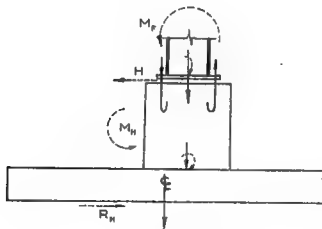
عندئذ تجمع عزوم الحني التي تعمل في نفس الاتجاه مع مراعاة ما يقابلها من أحمال رأسية وأفقية ثم تحسب الجهود على التربة وكلما كانت تلك الجهود متباينة كلما أدى ذلك إلى تعرض التربة لانتضغاط متباين يتبعه دوران الأساس .

وقد يكون جهد التحميل على التربة نازعاً وعندئذ يعاد حساب الجهد بعد فرض إلغاء الجهود النازعة ويؤدي هذا الفرض إلى زيادة جهد التحميل عند الحد الآخر للأساس .

ومن جهة أخرى يمكن زحزحة الأساس بالنسبة للعمود بحيث تعمل عزوم القوى والأحمال الرأسية على مقاومة عزوم الحني الناشئة عن التأثير الإطاري .

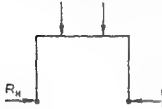


شكل ١٣ - ١٥



شكل ١٣ - ١٦

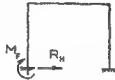
ولكثرة المؤثرات التي يتعرض لها الأساس قد يكون من الأوفق ان نلفت الانتباه إلى اتجاهات تلك المؤثرات . فمثلاً عند حساب الإطار ذي المفصلين فعند حساب المؤثرات على القاعدة الخرسانية وعلى التربة تنعكس اتجاهات كل المؤثرات التي يطلق عليها اسم ردود الفعل ،



نجد أن القوة الأفقية عند المفصل تتجه إلى الداخل وهذه القوة الأفقية هي رد الفعل عند المفصل .



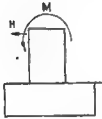
ولكن عند حساب الأساس تكون هذه القوة قوة فعالة ويكون اتجاهها عكس رد الفعل وقد أسميناها رفسة الإطار .



وكذلك عند حساب الإطار الموثوق ينعكس اتجاه كل من القوة الأفقية وعزم الوثاقة المؤثرين على الإطار عندما يؤثران على القاعدة الخرسانية .

(شكل ١٣ - ١٧)

وغني عن البيان انعكاس اتجاه القوة الرأسية أيضاً .



... شكل ١٣ - ١٧

١٣-٦ : حساب مسيات الجهد في الإطارات الجسيفة :

تحل الإطارات الجسيفة ، أي تحسب ، في مختلف عناصرها ، عزوم الحني وقوى القص والقوى العمودية بأي من الطرق المتبعة في تحليل المنشآت وفي أي من هذه الطرق يجب - إضافة إلى تحديد الشكل العام للإطار وأبعاده وتباعده - أن تعرف أو تفرض أطوال العناصر ومقطع كل منها . فإذا كان الإطار من مقطع مصمت يكفي بأن تعرف النسبة بين عزوم البطالة في كل من العناصر . أما في الإنشاء الشبكي فيلزم أن تعرف - إضافة إلى طول كل عضو فيه - مساحة ذلك العضو أو على الأقل النسبة بين مساحات مقاطع الأعضاء - وقد يقتضي الأمر إعادة

الحسابات إذا تبين أن القيم التي فرضت تبعد كثيراً عما يجب أن تكون . ومن هنا يتضح أنه من المفيد أن يكون المصمم قد كون فكرة عن النسب المشار إليها من حل بعض الإطارات المشابهة .

١٣-٧ : الإطار المنفرد :

الإطار المنفرد هو أبسط أشكال الإطارات وهو أسهلها حلاً من حيث أن نظامه غير محدد مرة واحدة . ومنذ زمن ليس بالقصير جهزت معادلات لحساب ردود الفعل عند القواعد ولعل أشهرها هو كتاب Klienlogel ومن الواضح أن هذه المعادلات كانت هي الأساس لعمل برامج الحاسبات . ولم يقتصر ذلك الكتاب على الإطار ذي المفصلين ولكنه شمل أنواعاً أخرى من الإطارات . وفيما يلي أمثلة من حل إطار ذي مفصلين معرض لأحمال مختلفة .

١٣-٨ : الإطار ذو المفصلين والكمرة أفقية :

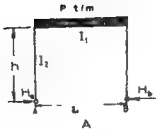
L : طول فتحة (بحر) الإطار I_1 : عزم عطالة الكمرة

h : ارتفاع العمود عند التقائه بالكمرة I_2 : عزم عطالة العمود

وباستخدام الحدين لها تميز

$$K = \frac{I_2 h}{I_1 L} , N = 2K + 3$$

N, K : ليس لها التالين :



$$H_a = H_b = \frac{P L^2}{4 h N}$$

فإذا افترضنا أن $\alpha = I_1$ بالنسبة إلى I_2

$$H_a = H_b = \frac{P L^2}{12 h}$$

$$H_a = H_b = \frac{3 P a b}{2 h L N}$$

For $a = b$

$$H_a = H_b = \frac{3 P L}{8 h N}$$

$$H_a = -\frac{wh}{8} \times \frac{11k + 18}{N}$$

$$H_b = \frac{wh}{8} \times \frac{5k + 6}{N}$$

$$V_a = V_b = \frac{wh^2}{2 L}$$

$$H_a = H_b = \frac{W}{2}$$

$$V_a = -V_b = \frac{Wh}{L}$$

$$H_a = H_b = \frac{-3 M}{2 h N}$$

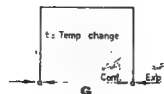
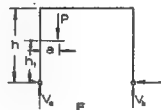
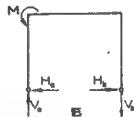
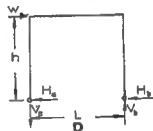
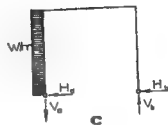
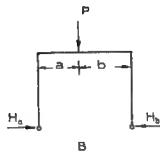
$$V_a = -V_b = \frac{M}{L}$$

$$H_a = H_b = \frac{3 P a}{2 N h} \left(k \left(\frac{h_1^2}{h^2} - 1 \right) - 1 \right)$$

$$V_a = P \left(1 - \frac{a}{L} \right)$$

$$V_b = P \frac{a}{L}$$

$$H_a = H_b = \pm \frac{3 \alpha t}{N} \times \frac{E L_2}{h^2}$$



$$V_a = V_b = 0$$

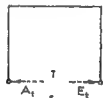
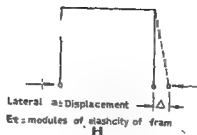
$$\alpha = 0.00001$$

$$H_a = H_b = \frac{3 \Delta E_1 I_2}{h^2 L N}$$

$$V_a = V_b = 0$$

$$T = H_b \times \frac{N}{N_t}, \text{ where}$$

$$N_t = 2k + 3 + \frac{3}{h^2} \times \frac{E I_2}{E_t A_t}$$



٩-١٣ : الإطار ذو المفاصلين ، المشدب في المنتصف (Gable Frame) :

باستخدام الحدود التالية :

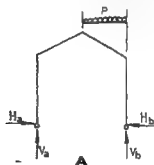
$$K = \frac{I_2 h}{I_1 s}$$

$$m = \frac{f}{h}$$

$$N = (k + 3) + m(m + 3)$$

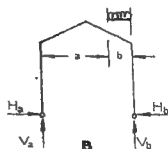
$$H_a = H_b = \frac{P L^2}{64 h} \times \frac{5 m + 8}{N}$$

$$V_a = \frac{p L}{8}, \quad V_b = \frac{3 p L}{8}$$



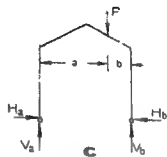
$$H_a = H_b = \frac{P b^2}{8 h} \times \frac{2 L (3 L - 2 b) + m (3 L^2 - 2 b^2)}{L^2 N}$$

$$V_a = \frac{P b^2}{2 L}, \quad V_b = \frac{P a}{L}$$



$$H_a = H_b = \frac{Pb}{4h} \times \frac{6aL + m(3L^2 - 4b^2)}{L^2 N}$$

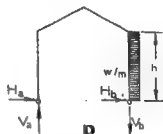
$$V_a = \frac{Pb}{L}, \quad V_b = \frac{pa}{b}$$



$$H_a = \frac{wh}{16N} (5k + 6(m+2))$$

$$H_b = H_a - wh$$

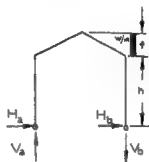
$$V_a = -V_b = \frac{wh^2}{2L}$$



$$H_a = \frac{wf}{16} \times \frac{8(k+3) + 5m(m+4)}{N}$$

$$H_b = H_a - wf$$

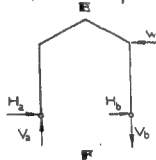
$$V_a = -V_b = wf \times \frac{(2h+f)}{2L}$$



$$H_a = \frac{W}{4} \times \frac{2k + 3(m+2)}{N}$$

$$H_b = H_a - W$$

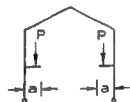
$$V_a = -V_b = \frac{WH}{L}$$



$$H_a = H_b = \frac{3a}{4b} \times (P + P') \frac{k(1+m^2) + (m+2)}{N}$$

$$V_a = \frac{P'a}{L} + P' \left(\frac{L-a}{L} \right)$$

$$V_b = \frac{Pa}{L} + P' \left(\frac{L-a}{L} \right)$$



Uniform change of temp of t° over entire frame

$$= \alpha t L$$

$$H_a = H_b = \pm \frac{3EI \alpha}{2N}$$

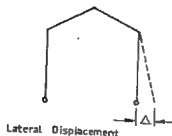
$$V_a = V_b = 0$$



Temp change : t°

$$H_a = H_b = -\frac{3}{2} \frac{\Delta}{N} \times \frac{E I_2}{h^2 s}$$

$$V_a = V_b = 0$$



١٣- الإطار ذو المفصلين المحذب في المنتصف وله شداد جسيء عند قمتي

$$N = 4K + 3 \text{ العمودين}$$

$$H_a = H_b = \frac{pL^2}{16 hN}$$

$$T = \frac{pL^2}{16 h} \times \frac{10k + 6 - m}{mN}$$

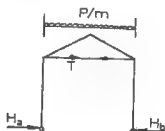
$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$

$$H_a = wh \times \frac{k + N}{4N}$$

$$H_b = wh - H_a$$

$$T = wh \frac{(3 + k) + 2m(k + N)}{8Nm}$$

$$V_a = V_b = \frac{wh^2}{2L}$$



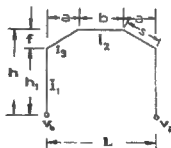
١٣-١٠ : الإطار ذو المفصلين والكمرة مرفوعة الوسط :

باستخدام الحدود التالية :

$$K_1 = \frac{I_3}{I_1} \times \frac{h_1}{s}$$

$$K_2 = \frac{I_3}{I_2} \times \frac{b}{s}$$

$$\alpha = \frac{a}{L} \cdot \beta = \frac{b}{L} \cdot \eta \cdot \frac{h_1}{h}$$



$$C = Z + \eta + 3 k_2$$

$$D = 2 \eta' (k_1 + 1) + 1$$

$$E = \eta' \Delta + C$$

$$N = \eta' \Delta + C$$

$$H_a = H_b = \frac{\bar{p}}{2 Nh} (2 a C (a + b)$$

$$+ a^2 (K_1 + 1) + k_2 b^2)$$

$$V_a = V_b = \frac{P'}{2} (b + 2 a)$$

$$H_a = H_b = \frac{pb}{4 Nh} (2 a C + k_2 b)$$

$$V_a = V_b = \frac{pb}{2}$$

$$H_a = H_b = \frac{pa}{8 Nh} (2 a C + a (\eta + 1))$$

$$V_b = \frac{p a^2}{2 L}, V_a = Pa - V_b$$

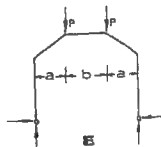
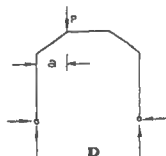
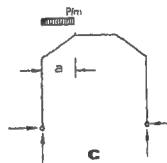
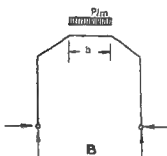
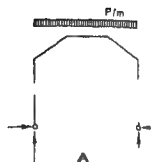
$$H_a = H_b = \frac{PaC}{2 Nh}$$

$$V_b = \frac{Pa}{L}, V_a = P - V_b$$

$$H_a = H_b = \frac{PaC}{Nh}$$

$$V_b = V_a = P$$

$$H_b = \frac{wf}{8 Nh} (4 h (E + C) + 2 fC + f (\eta + 1))$$



$$H_a = wf - H_b$$

$$V_b = -V_a = \frac{wf}{2L} (2h_1 + f)$$

$$H_b = \frac{wh_1^2}{8Nh_1} (2C + 2E + \eta_1 k_1)$$

$$H_a = - (Wh_1 - H_b)$$

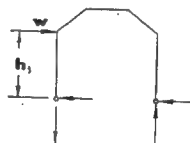
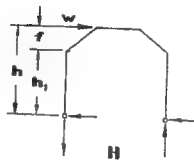
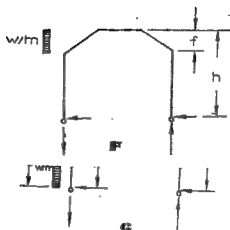
$$H_b = H_a = \frac{W}{2}$$

$$V_b = -V_a = \frac{Wh}{L}$$

$$H_b = \frac{Wh_1}{2Nh} (E + C)$$

$$H_a = - (W - H_b)$$

$$V_b = -V_a = \frac{Wh_1}{L}$$



J

Uniform change of temp
t° over the entire frame

$$\Delta = \alpha t L$$

$$H_a = H_b = \pm \frac{3 E_t I_3}{sh^2 N}$$

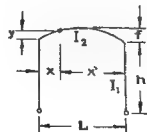
E_t = modulus of elasticity

١١-١٣ : الإطار ذو المفصلين والكمرة قطع مكافئ :

$$y = \frac{4f}{L^2} \times x^2$$

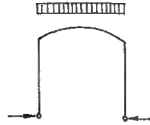
$$\alpha = \frac{a}{L}, \quad K = \frac{I_2 h}{I_1 L}, \quad m = \frac{f}{L}$$

$$N = 5(2k + 3) + 4m(5 + 2m)$$



$$H_a = H_b = \frac{pL^2}{4h} \times \frac{5+4m}{N}$$

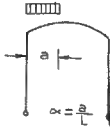
$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$



$$H_a = H_b = \frac{pa^2}{4hN} (5(3-2\alpha) + 2m(5-5\alpha^2+2\alpha^3))$$

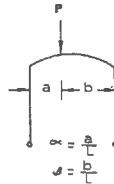
$$V_a = pa(2-\alpha)^2$$

$$V_b = \frac{pa^2}{2L}$$



$$H_a = H_b = \frac{5Pab}{2LbN} (3+2m(1+\alpha\beta))$$

$$V_a = \frac{Pb}{L}, V_b = \frac{Pa}{L}$$



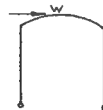
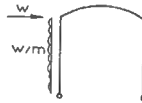
$$H_b = \left(\frac{5wh}{8} \times \frac{5k+6+4m}{N} \right) + \left(\frac{5W}{2} + \frac{2k+3+2m}{N} \right)$$

$$H_a = wh + W - H_b$$

$$V_a = -V_b = \frac{wh^2}{2L} + \frac{wh}{L}$$

$$H_a = -H_b = \frac{W}{2}$$

$$V_a = -V_b = \frac{N(f+h)}{L}$$



Uniform change of temp of t over entire frame

$$\Delta l = \alpha tL$$

$$H_a = H_b = \pm \frac{15}{h^2 N} \frac{E_1 I_2}{h^2 N}$$

= modulus of elasticity

١٢-١٣ : الإطار ذو المصلين المسنم غير المتماثل :

$$K_1 = \frac{I_3 S_1}{I_1 h}, K_2 = \frac{I_3 S_2}{I_2 h}$$

$$n = \frac{f}{h}, m = 1 + n$$

$$= \frac{a}{L}, \quad = \frac{b}{L}$$

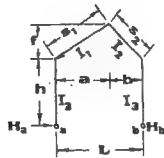
$$C = (k_1 + k_2) (1 + 2m)$$

$$D = 2 + k_2 (2 + m)$$

$$E = 2 + k_1 (2 + m)$$

$$N = (D + mC + E)$$

$$= 4 + 2(1 + m + m^2) k_1 + k_2$$



$$H_a = H_b = \frac{pa^2}{4 hN}$$

$$(2 \quad C + k_1 (1 + m))$$

$$V_b = \frac{pa^2}{2L}, V_a = P_a - V_b$$

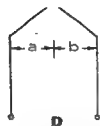
$$H_a = H_b = \frac{pb^2}{4 hN} (2 \times C + k_2 (1 + m))$$

$$V_a = \frac{pb^2}{2L}, V_b = pb - V_a$$



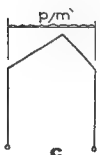
$$H_a = H_b = \frac{P_{ab} C}{hNL}$$

$$V_a = \frac{P_b}{L}, V_b = \frac{P_a}{L}$$



$$H_a = H_b = \frac{P}{4Nh} \left(\frac{2abC}{L}(a+b) + (1+m)(a^2 k_1 + b^2 k_2) \right)$$

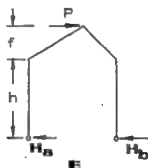
$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$



$$H_a = -\frac{P}{N} (\times mC + D)$$

$$H_b = \frac{P}{N} (mC + E)$$

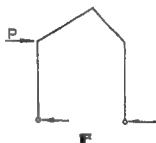
$$V_b = -V_a = \frac{P(h+f)}{L}$$



$$H_b = \frac{P}{N} (C + E)$$

$$H_a = -P + H_b$$

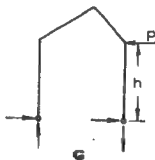
$$V_b = -V_a = \frac{ph}{L}$$



$$H_a = \frac{P}{N} (\times C + D)$$

$$H_b = -P + H_a$$

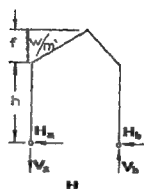
$$V_a = -V_b = \frac{Ph}{L}$$



$$H_b = \frac{wf}{11h} \left(hE + C \left(h + \frac{f}{2} \right) + \frac{fk_1}{4} (1+m) \right)$$

$$H_a = -(wf - H_b)$$

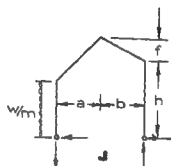
$$V_a = -V_b = w(h + f_b) / L$$



$$H_b = \frac{wh}{4N} (2(E + C) + 1)$$

$$H_a = -(wh - H_b)$$

$$V_b = -V_a = \frac{wh^2}{2L}$$



$$H_b = \frac{wh}{4N} (2(\times C + D) + 1)$$

$$H_a = -(wh - H_b)$$

$$V_a = -V_b = \frac{wh^2}{2L}$$



Uniform change of temp of t°
over entire frame

$$H_a = H_b = \pm \frac{6 E I_3}{N h^3}$$

$$\Delta = \times t L m'$$

E = modulus of Elasticity

١٣-١٣ : الحساب التقريبي لمسيبات الجهد في شبه الإطار :

نبدأ بالإطار ذي المفصلين وفي البند التالي أوضحنا أن الإطار شبه الموثوق نستخلص منه إطاراً ذا مفصلين :

أولاً : الأحمال والقوى الرأسية على الجمالون :

يعتمد الحل التقريبي للإطار على التفاوت الكبير بين عزمي عطالة الكمرة ومقطع العمود الحامل وهذا واضح من النسبة بين عمق الجمالون وعمق مقطع العمود .

وبقليل من التجربة يتضح أنه من الممكن اعتبار عزم عطالة الجمالون لا نهائية بالمقارنة بعزم عطالة مقطع العمود ، وبذلك استناداً إلى أي عزم سالب يحدث في طرف الجمالون يكون من الصغر بحيث يمكن إهماله . أي يصبح حساب الجمالون على اعتبار أنه كمرة بسيطة التحمل ، وذلك بالنسبة للأحمال والقوى الرأسية التي تؤثر على الجمالون ، ويتبع ذلك أن قمة العمود لا تتعرض لعزم حني من الأحمال والقوى الرأسية هذا ومن الواضح أن أي عزم سالب قد يتولد عند مركزي الجمالون من الأحمال الرأسية يُعنى نقصاً في العزم الموجب في الجمالون من نفس الأحمال .

ولما كان المعتاد أن يستمر مقطع كل من وتري الجمالون بكامل طوله فإن أية قوى تحدث في أعضائه الطرفية ، ناشئة عن العزم السالب - إن وجد - أدنى بكثير من مقدرة تلك الأعضاء . ومن هذا يتضح أن ما فرضناه إن لم يكن صحيحاً تماماً فهو في جانب الأمان .

ثانياً : الأحمال والقوى الأفقية ، الأفقية الجانبية ويمكن تقسيم ضغط الرياح إلى :

(أ) قوة أفقية مركزة W_1 و W_2 عند ركن الإطار تساوي ما يتعرض له نصف ارتفاع الجمالون من ضغط (أو مص)

$$W_1 = 0.8 \text{ d.s.w}$$

$$W_2 = 0.4 \text{ d.s.w}$$

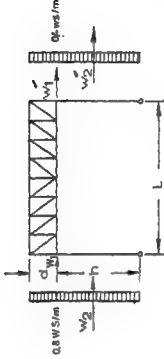
حيث s = تقسيط الأطارات

$d =$ عمق الجمالون

$w =$ ضغط الريح الذي تحدده المواصفات

وفي هذه الحالة يتساوى رد الفعلين الأفقيين عند المفصلين ؛ وليس في هذا تقريب .

(ب) قوة الريح الجانبية : وهنا نعتبر أن ضغط الريح موزع بالتساوي حيث أنه ينتقل إلى الإطار عن طريق المدادات الأفقية الممتدة بين الأعمدة . وبحسب الضغط على كامل ارتفاع الإطار رغم أن جزءاً منها ينتقل مباشرة إلى الأساس أو إلى مرتكز الجمالون .



وبفترض هنا أن رد الفعل الأفقي عند القاعدة المفصلة للعمود المواجه للريح

يتراوح بين $\frac{10W}{16}$ و $\frac{11W}{16}$ حيث W

هي القيمة الكلية للضغط (W_1 أو W_2)

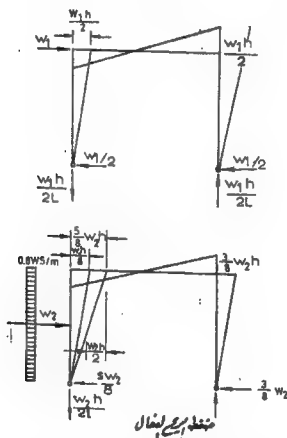
١٣-١٤ : الحساب التقريبي لمسيبات الجهد في الإطار الموثوق جزئياً

(Partially Fixed Frame)

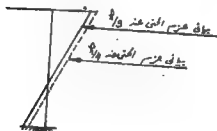
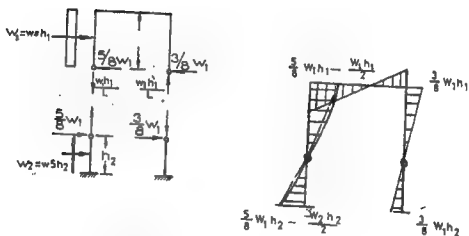
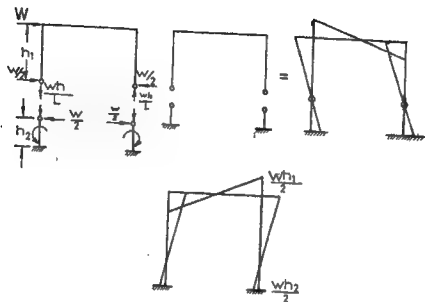
تتلقى التربة ، تحت الأساس وحوله ، المؤثرات التي يتعرض لها . وبإستثناء الصخر ، فمهما اشندت مقاومة التربة ، فإنها عرضة للانضغاط رأسياً وأفقياً وفي الإطارات لا يكون توزيع الجهود تحت الأساس متساوياً بل إنه أحياناً يتغير بين ضغط ورفع وبذلك تدور القاعدة ، مما يقلل من عزم الحني الذي يتعرض له ، كما أنه بسبب الانضغاط الأفقي تنزاح القاعدة ، وبذلك لا تكون وثاقة القاعدة كاملة .

والمعروف أن العضو الطرفي في مجموعة كمرات مستمرة أو في إطار ، إذا كانت نهايته موثوقة تماماً - وكان غير محمل - فإنه يحتوي على مفصل افتراضي (Virtual)

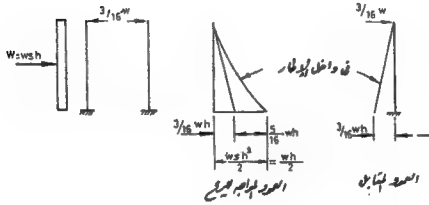
(hinge) على بعد ثلث طول العضو من الطرف الموثوق . ومن هنا جاء فرض مكان المفصل في العضو الذي وثاقته غير تامة من أنه بعد يتراوح بين $\frac{h}{4}$ و $\frac{h}{3}$ حيث h هو الطول الحر للعضو الطرفي . إذ كلما قرب موقع المفصل من الطرف الموثوق كلما قل عزم الحني فيه أي ضعفت الوثاقة .
تجدر ملاحظة أنه في نفس الوقت يزداد عزم الحني عند قمة العمود .



وبافتراض مكان مفصل في كل عمود يصبح الإطار الموثوق جزئياً غير محدد مرة واحدة . ولحل هذا النظام يفصل الإطار ذو المفصلين عن العمودين وبذلك يصبح ذلك الإطار محملاً على عمودين موثوقين من أسفلهما ولكل عمود مفصل في أعلاه . وتنتقل ردود الأفعال من الإطار إلى العمودين بنفس قيمتها ولكن بإشارة معكوسة .



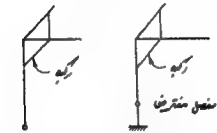
ويكون رسم بياني عزم الانحناء للعمودين كما في شكل (١٣ - ١٨) .



شكل ١٣ - ١٨

والواضح أن عزوم الخني في عمودي مثل هذا الإطار أكبر بكثير منها في عمودي الإطار اللذين يتصلان بالجمالون اتصالاً وثيقاً ؛ إضافة إلى أن عزم الخني الأكبر يحدث عند القاعدة ، والعزوم عند القاعدة تسبب مشاكل تنفيذية سبق بيانها .

وكذلك بالنسبة للقوة الأفقية المنقولة إلى القاعدة فهي هنا أكبر للعمود المواجه للرياح . وما لم يكن مطلوباً أن يكون الوتر السفلي مستقيماً بكامل طوله ، فإن من



الأسلم أن يزود الجمالون بركبة عند كل عمود وبذلك تصبح الوصلة جسيقة ، وعندئذ يمكن أن تكون قاعدة العمود مفصلية أو موثوقة جزئياً .

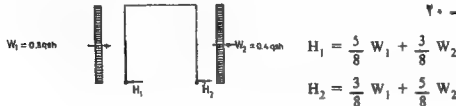
(شكل ١٣ - ١٩) .

ولا ننسى هنا أيضاً أن الإطار يتعرض لرياح

مقابل ، ففي الإطار ثنائي المفاصل (

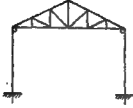
شكل ١٣ - ١٩

شكل ٢٠ - ١٣



شكل ٢٠ - ١٣

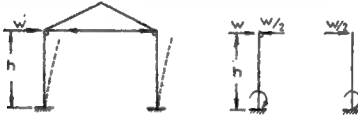
١٣-١٥ : حمل من طراز Fink يتركز على قمتي عمودين :



هنا تعتبر نقطة الارتكاز مفصلاً وبذلك لا بد أن يكون العمودان موثوقين عند قاعدتهما وعندئذ يصبح الإطار غير محدد مرة واحدة ، ويعتبر الجمالون عضو ضغط يربط قمتي العمودين اللذين يصبحان على هيئة كابولي مثبت عند القاعدة ومستند من أعلاه .

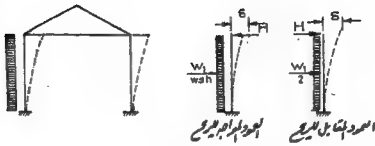
وحل مثل هذا الإطار ميسور .

- ١ - بالنسبة للأحمال الرأسية فإن الجمل يعتبر محددًا استاتيكيًا .
- ٢ - بالنسبة للقوى الأفقية ؛ بإهمال ماقد يحدث من انضغاط في الوتر السفلي للجمالون إذ هو أصلاً معرض سد :
- (أ) قوة أفقية مركزة عند أعلا العمود (ركن الإطار) طالما كان العمودان متماثلين في القطع وفي الطول ، فإن القوة تقسم بالتساوي بينهما وتصبح



قوة الضغط في الوتر السفلي مساوية نصف القوة المؤثرة ويصبح عزم الحني الأكبر عند قاعدة كل عمود مساوياً $\frac{w}{2} \cdot h$

- (ب) قوة أفقية (ضغط الريج) موزعة بالتساوي بكامل ارتفاع العمود :
- يحسب كل عمود باعتباره كابولا مؤثراً عليه بقوة عند مركز الجمالون . وبمساواة الانزياح العرضي لقمتي العمودين :



$$\delta_1 = \frac{W l^3}{8 E I}$$

$$\delta_2 = \frac{H l^3}{3 E I}$$

الانزياح العرضي لقوة موزعة بالتساوي
الانزياح العرضي لقوة مركزة عند الطرف الحر
وبمساواة الانزياح العرضي لقمتي العمودين

$$\frac{W l^3}{8 E I} - \frac{H l^3}{3 E I} = \frac{W l^3}{10 E I} + \frac{H l^3}{3 E I}$$

$$H = \frac{9}{32} W \text{ ومنها}$$

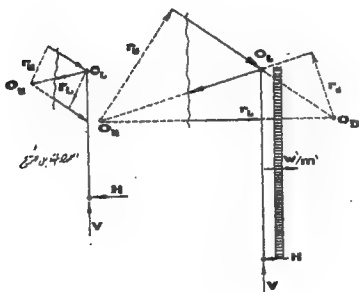
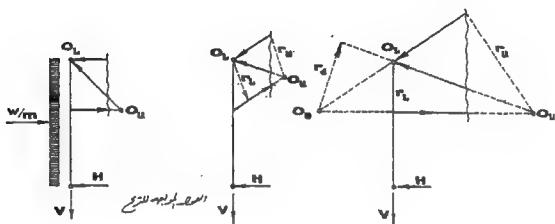
ملحوظة : لازال العمود أن هنا لهما نفس المقطع (I) ونفس الطول (l) كما أن عزم الحني الأكبر لازال عند قاعدة كل عمود .

١٣-١٤ : حساب تأثير القوى الأفقية على الجمالون وعلى العمود :

سندرس هنا الإطار ذا المفصلين ، سواء أكان المفصلان أصليان أم كانا مفترضين لإطار شبه موقوف . وبعد حساب ردي، الفعل الأفقيين يصبح الإطار محدداً استاتيكيًا ، ويتبع ذلك حساب ردي. الفعل الرأسيين عند المفصلين .

عندئذ يفصل كل من العمودين بما يحاورهما من أعضاء الجمالون عن الإطار

ويوضح على العمود ضغط الرياح ، ولا بأس من جعله منتظماً بكامل ارتفاع العمود .

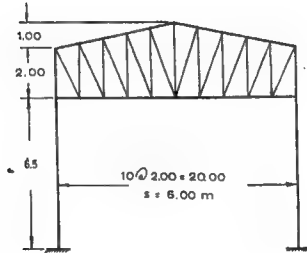


ولحساب القوى في أعضاء الجسمالون : بطريقة العزوم

- للوترين : تؤخذ العزوم حول تقابل الوتر والقطر .
- للقطر : إذا أمكن تلافي القطرين تؤخذ العزوم حول نقطة تقابلهما فإذا لم يتيسر ذلك كأن كان الوتران متوازيين أو كان تقابلهما بعيداً نلجأ إلى التحليل الرأسي لجميع القوى .

ويبدو أن من المفيد تقديم مثال :

المطلوب حساب مسببات الجهد للإطار الموثوق جزئياً الموضح بالرسم والناشئة عن ضغط الريح الذي شدته ١٠٠ كج/م^٢ على السطح الرأسي .



خامساً : العزوم في العمود المقابل للرياح .

العزم عند الوتر السفلي :

$$M_1^I = 1.98 - .24 \times \frac{4.0^2}{2}$$

(الشد في الخارج)

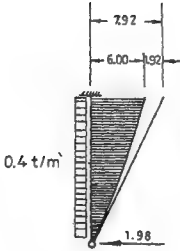
$$= 7.92 - 1.92 = 6.0 \text{ tm}$$

العزم عند القاعدة :

$$M_2^I = 1.98 \times 2.5 + .24 \times \frac{2.5^2}{2}$$

(الشد في الداخل)

$$= 4.95 + .75 = 5.70 \text{ tm}$$



تنبيه : من حيث أن ضغط الرياح هو قوة منعكسة فإن العزوم تتناوب على العمودين وعلى القاعدتين كما ينعكس موقع الشد والضغط على جانبي العمود ، وبذلك يجب أن تكون القاعدة متائلة حول محور العمود في مستوى الإطار .

$$W = 6.00 \times 100 \times 0.8 = 480 \text{ Kg/m}^1 \text{ للرياح المواجه للمنشأ}$$

$$W_1 = 6.00 \times 100 \times 0.8 = 480 \text{ Kg/m}^1 \text{ المقابل للرياح}$$

لما كان سطح المبنى أفقياً (تقريباً) فلا بأس من إهمال الرياح الماص على السطح

نفرض وجود مفصل على ارتفاع ٢ر٥٠ م من قاعدة كل عمود .

أولاً : لإيجاد ردود الأفعال نبدأ بالإطار بأكمله مع فصل الجزء الأسفل من كل

عمود :

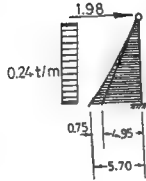
$$W_1 = .480 \times 6.0 = 2.88 \text{ t}$$

$$W_2 = .24 \times 6.0 = 1.44 \text{ t}$$

$$H_1 = \frac{5}{8} \times 2.88 + \frac{3}{8} \times 1.44 = 2.34 \text{ t}$$

$$H_2 = \frac{5}{8} \times 2.88 + \frac{3}{8} \times 1.44 = 1.98 \text{ t}$$

$$V = \pm (2.88 + 1.44) \times 3 - 20 = 0.648 \text{ t}$$



ثانياً : مسيات الجهد ، العمود المواجه للريح :

- القوة في الوتر السفلي - العزوم حول O_2 :

$$= (2.34 \times 6 - .48 \times \frac{6^2}{2})$$

$$\div 2.0 = 2.70 \text{ t (T)}$$

- القوة في الوتر العلوي - العزوم حول O_u :

$$(.48 \times 6 \times 1.0 + .648 \times 2.0 - 2.34 \times 4)$$

$$\div 2.19 = 2.37 \text{ t (C)}$$

- القوة في القطر الأول ، العزوم حول O_D :

$$(2.88 \times 1.0 - 2.34 \times 4.0 - .648 \times 20.00)$$

$$\div 15.6 = 1.25 \text{ t (C)}$$

ثالثاً : مسيات الجهد ، العمود المقابل للريح :

- القوة في الوتر السفلي ، العزوم حول O_L :

$$= (1.98 \times 6 - 1.44 \times 3) \div 2.0 = 3.78 \text{ t (C)}$$

- القوة في الوتر العلوي ، العزوم حول O_u :

$$= (1.98 \times 4 - 1.44 \times 1.0 - .648 \times 2)$$

$$\div 219 = 2.37 \text{ t (C)}$$

– القوة في القطر الأول ، العزوم حول O_D^1 :

$$= (1.98 \times 4 + .648 \times 20.0 - 1.44 \times 1.0)$$

$$\div 15.6 = 1.25 \text{ t (T)}$$

رابعاً : العزوم في العمود المواجه للريح :

العزم عند الوتر السفلي :

$$M_1 = 2.34 \times 4 - \frac{.48 \times 4.0^2}{2}$$

$$= 9.36 - 3.84 = 5.52 \text{ tm (الشد في الداخل)}$$

العزم عند القاعدة :

$$M_2 = 2.34 + \frac{.48 \times 2.5^2}{2}$$

$$= 5.85 + 1.50 = 7.35 \text{ tm (الشد في الخارج)}$$

فهرس

رقم الصفحة

١	الفصل الأول - المعادن في الانشاء
١	صناعة الحديد والفولاذ
٦	العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ
٧	منتجات الحديد والفولاذ
١١	صناعة الألمنيوم
١٣	استخدامات الفولاذ في المنشآت
٢٠	مميزات الفولاذ
٢١	مناخب الحشا الفولاذى
٢٢	بياني الحمل والاستطاقة
٢٥	المقاطع من الفولاذ الإنشائي
٣٢	الجهود المسموح به
٤٠	سبائك الألمنيوم الإنشائي
٤٣	الفصل الثاني - الوصلات
٤٨	الرباطات الميكانيكية - الصامير
٥٢	توضيب الصامير
٥٤	قواعد صف الصامير
٥٧	مقاومة الوصلات المبرشة
٦٧	حساب الوصلات المبرشة
٦٩	الصامير في الشد
٧٠	اللحام
٨١	أنواع اللحام
٨٧	الجهود المسموح بها في اللحام

٩٧	الفصل الثالث - الجبال القولاذية
٩٩	الكمرات المشدودة
٩٩	الكمرات الشبكية
١٠٠	الجبالونات
١٠٢	الجبالونات ذات السطح المخدر
١٠٤	الجبالونات ذات السطح المضبط
١٠٦	الجبالونات ذات السطح المقوس
١١٠	اختيار نوع الجمل
١١٤	ميل السطح
١١٨	شكل الوتر السفلي
١١٨	عمق الجمل
١٢١	مقاس الهانوه
١٢٢	ترتيب أعضاء الجذع
١٢٧	الأقطار المزدوجة
١٢٩	تقسيم جبالونات الأسقف
١٣٢	الأحمال على جبال الأسطح
١٣٢	الأحمال الميتة
١٣٧	الأحمال الحية
١٣٩	ضغط الريح
١٤٤	الفصل الرابع - تصميم الأعضاء القولاذية
١٤٧	توزيع الجهود في الحقاطع
١٥١	تصميم أعضاء الشد
١٦٧	الوصلة غير المركزية
١٧٢	تصميم أعضاء الضغط
١٧٥	أطوال التحنيط لأعضاء الجبالونات
١٨٨	نصف قطر المطالة

١٩٧	الوصلة غير المركزية
٢٠٠	ألواح الربط
٢٠٦	الفصل الخامس - حساب الخواصل
٢١١	حساب الخصل
٢١٣	الخصل المحمل
٢١٧	الزاوية القابضة
٢٢٨	لأم أعضاء الجمال
٢٥١	لأم الأعضاء الأخرى
٢٥١	لأم الأعضاء المعرضة لمزج حثي
٢٥٧	لأم الوتر
٢٦٠	الجهود في ألواح التجميع
٢٦٦	الفصل السادس - الكمرات
٢٧١	الأحمال على الكمرات
٢٧٦	اختيار مقطع جاهز
٢٧٨	اختيار مقطع لوحى
٢٨٠	تحقيق جهود القص
٢٩٠	تحقيق الجهود الرئيسية
٢٩١	تحقيق الجهد الكائى
٢٩٤	التحنيب الجانبي لشقة الضغط
٢٩٦	التحنيب العرضي لشقة الضغط
٢٩٩	التحنيب العرضي للجبذع
٣٠٢	التحنيب الرأسى للجبذع
٣٠٨	الفصل السابع - الأعمدة
٣٠٩	اختيار المقطع
٣١٣	المقاطع المستعملة في الأعمدة

٣٢١	المقطع الجاهز مقابل المقطع العيني
٣٢٤	الشرائط
٣٢٤	ألواح التثبيت
٣٢٧	الأحجبة
٣٣٣	حساب الأغرطة
٣٣٨	حساب الألواح
٣٤٣	طول التثبيت في الأعمدة
٣٤٦	طول التثبيت لأعمدة الإطارات
٣٥٤	العمود العمودي التحميل
٣٦٩	الأعمدة المعرضة لمعزم حني
٣٩٤	الفصل الثامن - رؤس وقواعد الأعمدة
٣٩٧	القواعد الطحوة
٣٩٨	القواعد المبرشة
٤٠٣	لوح الرأس ولوح القاعدة
٤١٠	حساب القاعدة المعرضة لمعزم حني
٤١٢	الجاويفات
٤٢٠	القواعد المبرشة المعرضة لمعزم حني
٤٢٤	حساب سطح لوح القاعدة
٤٢٦	القواعد الثقيلة
٤٤٢	إحكام الجاويفات
٤٤٧	أساس العمود
٤٥٢	الفصل التاسع - الكراسي
٤٥٤	كراسي الجمالونات
٤٥٨	الكراسي لجمالونات السطح
٤٦٣	حساب الكراسي اللوحية
٤٦٦	الكرسي لكثرة مدققة

٤٧٢	الفصل العاشر - تربيط المنشآت القولاذية
٤٧٦	دواعي تربيط المنشآت المعدنية
٤٨٢	مواقع أنظمة الأربطة
٤٨٨	أنظمة الأربطة
٤٩٤	حساب القوى في أنظمة الريح الأفقية
٥٠٥	اختيار المقطع لأعضاء الأربطة
٥٠٦	المقاطع المستخدمة لأعضاء الأربطة
٥٠٧	أربطة العظلات
٥١٤	دراسة مقارنة لأربطة العظلات
٥٢٢	السند بالركب
٥٢٣	الفصل الحادى عشر - المدادات
٥٢٣	مقدمة
٥٢٤	الأحمال على المدادات
٥٢٥	انتقال الأحمال
٥٢٧	حساب العدادة
٥٢٧	بحر العدادة
٥٢٨	الأحवाल
٥٢٩	حساب التأثيرات
٥٣١	المقاطع المستخدمة للمدادات
٥٣٦	مدادة القمة
٥٣٧	النظام الاستاتيكي للعدادة
٥٤٢	أمثلة
٥٤٨	الشدادات
٥٥٧	العدادة الرأسية
٥٥٩	تأثير المركبة ٧ على الجمالون
٥٦٢	تفطية السطح بالخرسانة المسلحة

٥٦٤	الفصل الثاني عشر - الكمرات المعرضة لعزم حني مزدوج
٥٦٤	مقدمة
٥٦٥	اختيار المقطع
٥٦٧	المقاطع الدلقنة
٥٧٣	مقطع I مبني ملحوم
٥٧٦	المقاطع المركبة للكمرات
٥٧٧	تقوية مقطع I لمقاومة عزم حني منفرد
٥٧٧	التقوية المتماثلة
٥٨٣	التقوية غير المتماثلة
٥٩٣	المقطع المركب لمقاومة عزم حني مزدوج
٥٩٦	اختيار مقطع مركب لمقاومة عزم حني مزدوج
٥٩٦	المقطع المركب المتماثل
٦٠٥	المقطع المركب غير المتماثل

الفصل الثالث عشر

٦١٧	الإطارات الجسيمة (Rigid Frames)
-----	---------------------------------



Bibliotheca Alexandrina



0331522